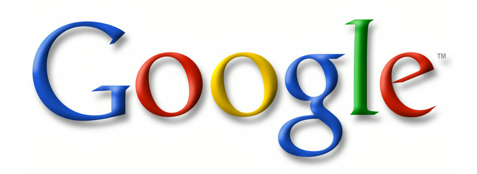
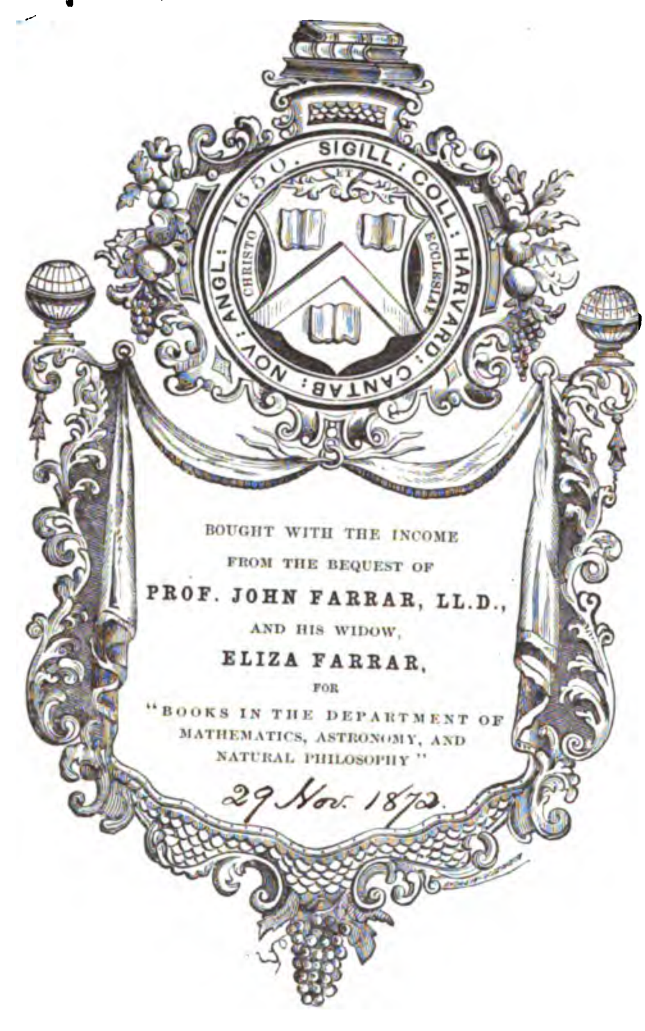


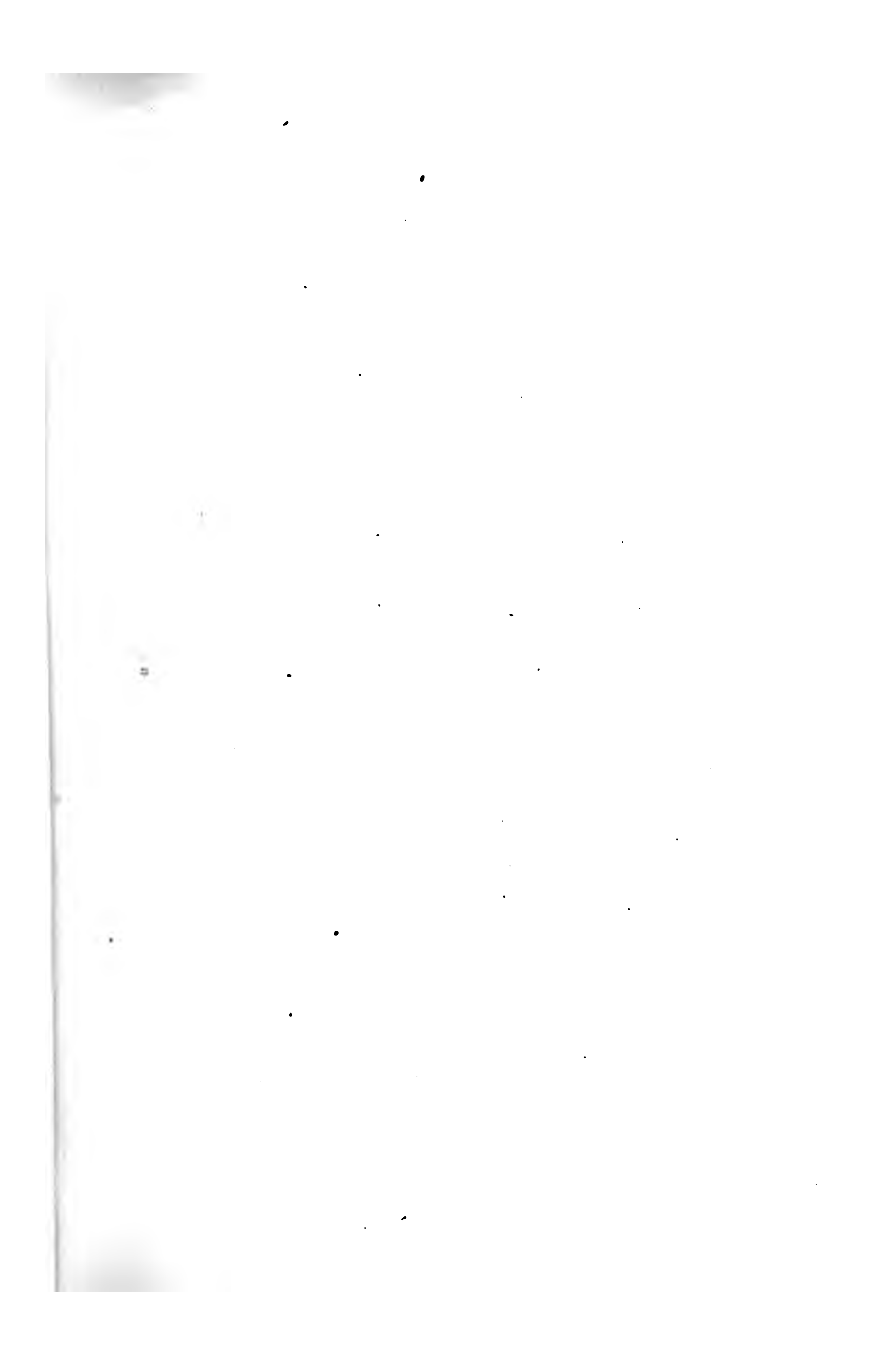



SIGILL: COLL: HARVARD: CANTAB: NOV: ANGL: 1650.
CHRISTO ET ECCLESIAE
BOUGHT WITH THE INCOME
FROM THE BEQUEST OF
PROF. JOHN FARRAR, LL.D.,
AND HIS WIDOW,
ELIZA FARRAR,
FOR
"BOOKS IN THE DEPARTMENT OF
MATHEMATICS, ASTRONOMY, AND
NATURAL PHILOSOPHY"
29 Nov. 1872.



Vorschule der Experimentalphysik.

Druck von F. A. Brockhaus in Leipzig.
Holzschnitte von Gebrüder Siméon in Braunschweig.
Papier von Sieler & Vogel in Leipzig.





Vorschule

der

Experimentalphysik.

Naturlehre

in elementarer Darstellung, nebst Anleitung zum Experimentiren
und zur Anfertigung der Apparate.

Von

Adolf F. Weinhold,

Professor an der Königl. Höheren Gewerbschule zu Chemnitz.



Mit über 400 in den Text gedruckten Holzschnitten und 2 Farbentafeln.

Leipzig.

Verlag von Quandt & Händel.

1872.



Vorschule
der
Experimentalphysik.

Naturlehre

in elementarer Darstellung, nebst Anleitung zum Experimentiren
und zur Anfertigung der Apparate.

Von

Adolf F. Weinhold,
Professor an der Königl. Höheren Gewerbschule zu Chemnitz.



Mit über 400 in den Text gedruckten Holzschnitten und 2 Farbentafeln.

Leipzig.
Verlag von Quandt & Händel.
1872.

Vorwort.

Die Idee, das vorliegende Werkchen abzufassen, rührt nicht von mir her, sondern wurde mir von der Verlagshandlung unterbreitet und nicht ohne ernste Bedenken bin ich an die Ausführung gegangen, da ich mir der vielen Schwierigkeiten derselben wohl bewußt war.

An eine Anleitung zum Selbststudium der Experimentalphysik mögen Anforderungen von so verschiedener, ja theilweise fast gerade entgegengesetzter Art gestellt werden, daß es von vorn herein unmöglich erscheint, ihnen allen gerecht zu werden. Zwischen zu weit gehender Beschränkung des Inhaltes und allzugroßer Ausdehnung des Volumens, zwischen einer den Zweck verfehlenden Dürftigkeit der Experimente und übermäßigen Ansprüchen an die Mittel des Lesers, zwischen Oberflächlichkeit und Unverständlichkeit den richtigen Weg zu finden, bin ich ernstlich bemüht gewesen; aufzuzählen, warum Dies weggelassen, Jenes aufgenommen wurde, sei mir hier erspart — es möchte sonst das Vorwort eine ungebührliche Ausdehnung gewinnen. Ausgesprochen sei nur, daß mit aller Absicht-

lichkeit der Schwerpunkt des Werkchens in den experimentellen Theil gelegt und alles historische, decorative oder sonstige Beiwerk unterdrückt wurde, um für möglichste Deutlichkeit dieses Theiles den Raum auszunutzen.

Jeden Hinweis auf Mängel, denen abzuhelfen ist, werde ich dankbar entgegennehmen.

Chemnitz, im November 1871.

Weinhold.

Uebersicht des Inhalts.

Seite

Einleitung 3

Die Eigenschaften der Körper 9
1. Räumliche Ausdehnung, Maße, Inhaltsberechnung 9
2. Raumerfüllung 13
3. Starre, tropfbare, gasige Körper. Aggregatzustände 14
4. Cohäsion und Expansion 19
5. Porosität 27
6. Theilbarkeit 29
7. Schwere, absolutes und specifisches Gewicht 30

Mechanik, d. i. Lehre vom Gleichgewicht (Statik) und Lehre von der Bewegung (Dynamik) der Körper 36
8. Beharrungsvermögen 36

A. **Allgemeine Mechanik und Mechanik starrer Körper** 39
9. Kraft und Masse 39
10. Fall 45
11. Wurf 49
12. Mechanische Arbeit 54
13. Einfache Maschinen 57
14. Schwerpunkt, Gleichgewicht, Wage 76
15. Pendel 89
16. Centrifugalkraft 94

Molekularverhältnisse der starren Körper 107
17. Festigkeit, Elasticität 107
18. Adhäsion 110

B. **Hydrostatik und Hydrodynamik, d. i. Lehre vom Gleichgewicht und von der Bewegung tropfbarer Körper** 113
19. Niveau, Druckfortpflanzung, Boden- und Wanddruck 113
20. Auftrieb, communicirende Röhren, Archimedisches Princip 126
21. Schwimmen, Aräometer 133
22. Ausfluß, Springbrunnen, Reaction, Wasserschraube 136

Molekularverhältnisse tropfbarer Körper 140
23. Adhäsion, Benetzung, Capillarität, Lösung, Diffusion, Endosmose 140

C. **Aërostatik und Aërodynamik, d. i. Lehre vom Gleichgewicht und von der Bewegung gasiger Körper** 149
24. Schwere der Luft, Gewichtsverlust in Luft, Luftballon 149
25. Luftdruck, Barometer 154
26. Mariotte'sches Gesetz 161
27. Apparate, welche auf dem Luftdruck und dem Mariotte'schen Gesetze beruhen 164
28. Luftpumpe, Luftpumpenversuche 178
29. Saug- und Druckpumpen 189
30. Reaction und Schraubenwirkung bei Gasen; Saugerscheinungen beim Ausströmen 196

Molekularverhältnisse gasiger Körper 204
31. Oberflächenverdichtung, Absorption, Diffusion 204

Seite

Akustik, d. i. Lehre vom Schall 210
32. Wesen und Fortpflanzung des Schalls 210
33. Sirene, Tonhöhe, Schwingungszahl 222
34. Schwingungen der Saiten, Obertöne, Resonanz, Klangfarbe 227
35. Schwingungen von Platten, Glocken, Stäben, Luftsäulen; Töne der Zungenpfeifen 236
36. Stimmorgan, Vocale, Flammenzeiger 248
37. Schwebungen, Consonanz, Dissonanz 255

Optik, d. i. Lehre vom Licht 258
38. Fortpflanzung des Lichtes, Schatten, Photometer 258
39. Zurückwerfung des Lichtes, Spiegel 268
40. Brechung des Lichtes, Prismen, Linsen, Camera obscura 285
41. Farbenzerstreuung, Spectrum 302
42. Auge, Sehen, Optische Instrumente 323
43. Sehen mit zwei Augen, Stereoskop; Dauer des Lichteindrucks; Farbenscheibe, Complementär- und Contrastfarben, Stroboskopische Scheibe, Lebensrad; optische Täuschungen 335

Elektricität und Magnetismus 346
A. **Reibungselektricität** 347
44. Elektricität durch Reibung, Anziehung und Abstoßung, Leiter und Nichtleiter 346
45. Elektrische Vertheilung, Goldblattelektroskop, Elektrophor 353
46. Anordnung der Elektricität auf Leitern, Spitzenwirkung, Elektrisirmaschine 366
47. Elektrische Ansammlungsapparate, Wirkungen elektrischer Entladungen 383
B. **Berührungselektricität oder Galvanismus** 405
48. Elektricität durch Berührung, galvanische Kette, galvanischer Strom 405
49. Wirkung des galvanischen Stroms auf Leiter; Erwärmung, chemische Zersetzung 418
50. Wirkung galvanischer Ströme aufeinander, Ampère'sche Gesetze 432
C. **Elektromagnetismus, Magnetismus, Induction** 437
51. Elektromagnetismus 437
52. Magnetismus 457
53. Induction 464

Wärmelehre 469
54. Ausdehnung durch die Wärme, Thermometer 469
55. Schmelzen und Erstarren 484
56. Verdunsten, Verdampfen und Verdichten 487
57. Fortpflanzung der Wärme, Strahlung und Leitung 497
58. Specifische und latente Wärme, Erzeugung von Wärme und Kälte 501
Anhang 512
59. Witterungserscheinungen 512

Vorschule der Experimentalphysik.

Einleitung.

Die in der Natur, d. i. in der körperlichen Welt, vorgehenden Erscheinungen sind von einer so großen Mannichfaltigkeit, daß ihre Kenntniß in mehrere große Gebiete des Wissens zerfällt. Die räumliche Trennung unserer Erde von allen andern Himmelskörpern war von jeher der Grund, die Betrachtung der Sternenwelt als eine besondere Wissenschaft — Astronomie — zu trennen von den übrigen Naturwissenschaften, die sich ausschließlich mit irdischen Dingen beschäftigen. Unter den Erscheinungen, die wir auf der Erde beobachten können, sind einige, die den belebten Wesen, Menschen, Thieren und Pflanzen eigenthümlich sind — so das Wachsthum und die Erhaltung ihres Daseins durch die Ernährung, Krankheit und Tod — die Kenntniß dieser Lebenserscheinungen, die Physiologie, bildet eine zweite gesonderte Wissenschaft. Die noch übrigbleibenden Naturerscheinungen an leblosen Dingen lassen sich nun in zwei große Classen theilen. Als Erscheinung bezeichnen wir jede eintretende Veränderung, eine solche kann mehr oder weniger tief in das Wesen des Dinges eingreifen, an dem sie sich vollzieht. Das Wasser, von feuchten Wiesen, Teichen, Flüssen und vor allem von der Oberfläche des Meeres in Form von Dünsten aufsteigend, die sich zu Wolken umgestalten, aus denen es bald als Schnee, bald als Regen wieder zur Erde fällt, um Flüsse und Seeen von neuem zu speisen, zeigt uns eine Menge der verschiedenartigsten Erscheinungen, es bleibt aber bei diesem Kreislauf immer Wasser, wenn es auch bald in flüssiger, bald in fester Gestalt, bald als Dampf auftritt, der Stoff desselben bleibt dabei unverändert.

Entzünden wir einen Holzspahn, so verwandelt er sich unter Entwickelung von Wärme und Licht in Rauch und Asche, seine Bestandtheile werden zersetzt, der Stoff des Holzes in ganz andere Stoffe umgewandelt. Die Veränderungen der letzten Art, die mit dem Stoffe der Körper vorgehen, gehören in das Gebiet der Chemie; die Physik dagegen ist die Lehre von den Erscheinungen (an unbelebten, irdischen) Naturkörpern, bei denen der Stoff unverändert bleibt. Diese Erläuterung des Begriffes „Physik" ist jedoch nur eine ohngefähre, die vier verschiedenen genannten Naturwissenschaften hängen so vielfach untereinander zusammen, daß eine scharfe Sonderung ihrer Grenzgebiete gar nicht möglich ist und auch die genaueste An-

gabe der Grenzen eines Wissensgebietes würde nicht im Stande sein, jemandem, der dieses Gebiet noch gar nicht kennt, einen deutlichen Begriff von seinem Inhalte zu geben.

Um einen Ueberblick über das zu gewinnen, womit sich die Physik beschäftigt, wird es besser sein, die einzelnen Gegenstände kurz aufzuzählen. Gleichgewicht und Bewegung der Körper, der festen sowol, als der flüssigen und luftförmigen, Schall, Licht, Elektricität, Magnetismus und Wärme bilden den Inhalt der einzelnen Abschnitte unserer Wissenschaft.

Die aufmerksamste Betrachtung der Erscheinungen, welche in der Natur von selbst eintreten, ist für sich allein nur wenig geeignet, unsere Erkenntniß derselben zu fördern; es wirken bei diesen so viele, verschiedene Einflüsse zusammen, daß wir sie nicht alle zugleich zu übersehen vermögen und oft bei zwei zusammengehörigen Erscheinungen in Zweifel sein können, welche die Ursache und welche die Wirkung der andern ist. Die Witterungserscheinungen, so aufmerksam und vielfach sie betrachtet werden, sind uns noch heute viel weniger gut bekannt, als tausend andere Vorgänge.

Um das Wesen der Erscheinungen verstehen zu lernen, müssen wir in der Regel Erscheinungen künstlich hervorrufen, wir müssen V e r s u c h e (E x p e r i m e n t e) anstellen, bei denen wir die Bedingungen, unter denen etwas geschieht, nach unserer Willkühr einzeln abändern und dadurch den Einfluß der einzelnen Umstände erkennen können. Zu solchen Versuchen braucht man meistenstheils besondere Vorrichtungen (A p p a r a t e); beim ersten Anblick kann es leicht scheinen, als seien die mit den manchmal ziemlich verwickelten Apparaten angestellten Versuche noch weniger verständlich, als die von selbst eintretenden Naturerscheinungen, das Beiwerk des Apparates ist uns aber in seiner Wirkungsweise vollkommen bekannt, während bei den unmittelbaren Naturerscheinungen manche wirksame Einflüsse nicht nur uns unverständlich sind, sondern oft ganz übersehen werden.

Alle Versuche nochmals anstellen zu wollen, durch die unsere jetzigen physikalischen Kenntnisse gewonnen worden sind, würde für einen Einzelnen völlig unmöglich sein, dazu wäre ein außerordentlicher Aufwand an Zeit und Geld erforderlich, eine solche Wiederholung aller Versuche ist aber glücklicherweise auch durchaus nicht nothwendig für den, der sich physikalische Kenntnisse erwerben will. Von vielen Versuchen genügt die genaue Beschreibung, aber freilich n i c h t f ü r j e d e n, s o n d e r n n u r f ü r d e n, d e r e i n e g e w i s s e, z i e m l i c h g r o ß e Z a h l V e r s u c h e s c h o n a u s e i g e n e r A n s c h a u u n g k e n n t. Jemand, der heute anfangen will, sich mit den Lehren der Physik vertraut zu machen, wird überdies einen andern Weg einzuschlagen haben, als der ist, den ursprünglich die Forschung betreten hat. Nachdem das von Einzelnen mühsam und bruchstückweise Aufgefundene sich mehr und mehr zu einem zusammenhängenden Ganzen gefügt hat, läßt sich eine große Anzahl von Erscheinungen leicht erklären, die, für sich allein untersucht, viele Arbeit verursacht haben. Vor allem aber wird es sich für den A n f a n g nur darum handeln, dem Lernenden eine geordnete Reihe von Thatsachen vorzuführen und ihn anzuleiten, die Erscheinungen zu beobachten, d. h. alles richtig wahrzunehmen, was bei einem Versuche geschieht, nichts zu übersehen, aber auch nicht durch vorgefaßte Meinungen sich verleiten zu lassen, Dinge zu sehen, die gar nicht geschehen. So unwahrscheinlich es klingt, so leicht geschieht es, daß jemand, der an genaues Beobachten nicht gewöhnt ist, sich einbildet, etwas ganz bestimmt wahrzunehmen, was sich doch thatsächlich ganz anders verhält.

Viel vortheilhafter, als eine Vorführung der Versuche durch einen anderen ist es, wenn der Lernende unter Anweisung eines Lehrers die Versuche selbst ausführt, weil er dabei gezwungen ist, auf alle Umstände, von denen das Gelingen eines Versuches abhängt, genau Obacht zu geben, während beim bloßen Ansehen der von einem anderen angestellten Versuche es leicht geschieht, daß etwas besonders auffälliges die Aufmerksamkeit allein erregt und von minder hervortretenden, aber nicht minder wichtigen Dingen abzieht.

Für viele, die physikalische Kenntnisse zu erwerben wünschen, ist aber die persönliche Anleitung eines Lehrers nicht zu erlangen und die käufliche Erwerbung der zu einer einigermaßen vollständigen Anstellung der Versuche erforderlichen Sammlung von Apparaten, wie sie größere Lehranstalten besitzen, ist für den Einzelnen fast immer unmöglich.

Vorliegendes Buch will nun versuchen, die mündliche Anweisung des Lehrers zu ersetzen, soweit dies durch das geschriebene Wort überhaupt möglich ist und den Leser in den Stand zu setzen, den weitaus größten Theil der nothwendigsten Apparate mit eigener Hand herzustellen.

In erster Linie soll das Buch für die Jugend eine gleichzeitig unterhaltende und belehrende Ausfüllung der Freistunden bieten. Die Neigung, allerlei Dinge zu bauen, ist bei gereiften Knaben vielfach vorhanden und diese kann dadurch eine bestimmte, nicht unnütze Richtung erhalten. Wenn einerseits aus der großen Zahl überhaupt möglicher Versuche vorzugsweise solche ausgewählt sind, die durch gefällige Erscheinung geeignet sind, Interesse zu wecken, so ist doch andererseits bloße Spielerei möglichst und eigentliche Kunststückmacherei völlig vermieden. Es soll Gelegenheit zu einer gewissen Handfertigkeit geboten und dabei der Geist angenehm beschäftigt, aber nicht zerstreut werden.

An Vorkenntnissen setzt das Buch nichts voraus, als einige Uebung im Rechnen, die sich bis zur Kenntniß der Decimalbrüche erstreckt. Mit der allgemeinen Einführung des metrischen Maß- und Gewichtssystems muß naturgemäßer Weise der Gebrauch der Decimalbruchrechnung ein immer allgemeinerer werden, so daß die fast ausschließliche Anwendung der Decimalbrüche in dem vorliegenden Werkchen nicht als eine außergewöhnliche Zumuthung für den Leser anzusehen ist. In Bezug auf die Art und Weise, wie die vorkommenden Rechnungen schriftlich dargestellt sind, sei gleich hier bemerkt, daß als Multiplicationszeichen anstatt des vielfach üblichen, liegenden Kreuzes ($\times$) durchgehends ein Punkt angewendet ist, dreimal sechs ist also ausgedrückt $3 \cdot 6 = 18$. Wo eine Division ausgeführt werden soll, ist dies immer dadurch angedeutet, daß der Dividend als Zähler, der Divisor als Nenner eines Bruches geschrieben ist, soll 42 durch 7 dividirt werden, so steht $\frac{42}{7} = 6$. Anstatt einzelner Zahlen kommen als Zähler oder Nenner eines solchen Bruches auch zusammengesetzte Ausdrücke vor, die aber wol ohne weiteres verständlich sein werden, $\frac{9{,}5 \cdot 8 - 6}{9 + 5} = 5$ bedeutet beispielsweise, daß man 5 erhält, wenn man 9,5 mit 8 multiplicirt (76), davon 6 abzieht und den erhaltenen Rest (70) durch die Summe von 9 und 5 (14) dividirt.

Der vorliegende Stoff ist von dreierlei Art; es sind die wichtigsten physikalischen Lehren vorzutragen, die zu ihrer Erläuterung und Begründung dienenden Versuche müssen beschrieben werden und endlich soll eine Anleitung

zur wirklichen Ausführung der Versuche, zur Herstellung der nöthigen Apparate gegeben werden. Die ersten zwei Theile gehören ihrer Natur nach nothwendigerweise zusammen, die Versuche sind zum Verständniß des eigentlichen Lehrstoffs unentbehrlich, beides ist deshalb auch im Texte vollkommen verschmolzen. Der eigentlich praktische Theil steht mit den anderen nicht in so unmittelbarem Zusammenhang und ist davon durch kleineren Druck unterschieden; denselben ganz abzutrennen und, nach der Art der verschiedenen, vorkommenden Verrichtungen geordnet, in einen besonderen Abschnitt zusammenzufassen, war für den vorliegenden Zweck nicht thunlich. Es hätten sich dadurch wol manche Wiederholungen vermeiden lassen, es konnte aber dem Leser nicht zugemuthet werden, das zur Anstellung eines einzelnen Versuches Nöthige aus diesem Abschnitte zusammenzusuchen oder gar den ganzen Inhalt dieses Abschnittes sich anzueignen, ehe er sich an die Ausführung eines Versuches macht und die meisten Versuche würden doch noch besondere Bemerkungen erfordert haben.

Der zuerst erwähnte Theil, der eigentliche Lehrstoff, mußte auf das Nothwendigste und Wichtigste beschränkt werden, theils wegen des geringen Umfangs des Buches, theils, weil ein tieferes Eingehen nothwendigerweise mathematische Vorkenntnisse erfordert, die nicht vorausgesetzt werden konnten. Eine wirkliche Herleitung der physikalischen Gesetze aus den beobachteten Thatsachen ist beim ersten Unterricht nicht immer möglich, es muß dann genügen, die Uebereinstimmung des Gesetzes mit den Ergebnissen der Beobachtung zu zeigen. Geschichtliche Angaben über die allmählige Entwickelung der Wissenschaft, die Namen der einzelnen Erfinder und Entdecker mußten des beschränkten Raumes wegen ganz weggelassen werden; auch Beispiele für die betrachteten Sätze, Hinweisungen auf Anwendungen derselben im praktischen Leben konnten nur sparsam gegeben werden, um so viel Raum als irgend möglich zu gewinnen für eine ganz ins Einzelne gehende Behandlung dessen, was zur Ausführung der Versuche nöthig ist. Leicht könnte es manchem scheinen, als sei in dieser Richtung zu viel geschehen, als sei es kleinlich, anzugeben, mit welcher Hand, mit welchen Fingern das oder jenes Ding anzufassen sei; für jemand aber, der Experimente selbst machen soll, ohne je dergleichen gesehen zu haben, kann nach der Ueberzeugung des Verfassers keine Beschreibung deutlich genug sein, schlagen doch ganz leicht aussehende Versuche selbst Fachleuten oft genug fehl.

Ganz wesentlich mußte hier darauf Bedacht genommen werden, daß die Experimente nicht theuer zu stehen kommen, es war also meist nöthig, sich mit unvollkommenen Apparaten zu begnügen; da zugleich der Raum des Buches ein beschränkter ist, so sind kostspieligere Apparate, die ihrem Zwecke besser entsprechen, als die hier zur Anwendung kommenden, manchmal nur kurz, öfter noch gar nicht erwähnt. Bei ganz besonders wichtigen Dingen (Luftpumpe, Elektrisirmaschine) ist davon eine Ausnahme gemacht, deren Einrichtung und Gebrauch sind soweit beschrieben worden, daß jemand, der sie anschaffen kann, in den Stand gesetzt wird, sie zu benutzen, obgleich die Anschaffung nicht eigentlich vorausgesetzt ist.

Einige Vorrichtungen, die nicht gut zu entbehren sind, deren Herstellung aber besondere Fertigkeiten und Hülfsmittel erfordert (z. B. die Schwungmaschine), wird man freilich fertig beim Mechaniker kaufen müssen, im Allgemeinen aber ist ganz vorwiegend das Selbstmachen der Apparate ins Auge gefaßt. Dazu ist, außer einigem Material (Draht und Blech von

verschiedener Stärke, Glasröhren u. dergl.), vor allem Werkzeug erforderlich und zwar gutes Werkzeug. Schlechte Werkzeuge nützen sich so schnell ab und verursachen soviel Mühe und unnützen Zeitverbrauch, daß ihre Anschaffung geradezu eine Verschwendung genannt werden muß, zumal für einen Anfänger, der damit nur das bearbeitete Material verdirbt, ohne etwas brauchbares zu Stande zu bringen, während ein geübter Arbeiter sich eher mit mangelhaften Werkzeugen behelfen kann.

An kleineren Orten sind die nöthigen Werkzeuge nicht immer käuflich und die Auswahl derselben erfordert einige Fähigkeit in der Beurtheilung derselben, die jemandem, der mit ihrem Gebrauche noch nicht vertraut ist, natürlich abgeht. Deshalb hat Herr B. Littmann in Chemnitz auf Veranlassung des Verfassers eine Sammlung guter Werkzeuge eigens nach den Anforderungen dieses Buches zusammengestellt, die in einen handlichen Kasten verpackt als Ganzes, aber auch im Einzelnen bezogen werden kann. Es ist angenommen, daß der Leser sich einzelne Werkzeuge selbst machen soll, wer nicht zu sparen braucht, kann auch diese und manche andere, die vortheilhaft, aber nicht unentbehrlich sind, aus derselben Quelle beziehen; für diejenigen aber, die nicht viel aufwenden können, ist eine noch etwas vereinfachte Zusammenstellung gemacht, die nur das Nothwendigste enthält. Das an Metallen erforderliche Material, Schrauben, Smirgel und dergl. wird von Herrn Littmann ebenfalls geliefert, während Glasgefäße, Glasröhren, Kautschuckschläuche, Quecksilber und ähnliche Dinge von Herrn Mechaniker G. Lorenz in Chemnitz zu beziehen sind, der auch diejenigen Apparate, deren Fertigankauf vorausgesetzt ist, genau in der hier angegebenen Weise ausführt und auf Wunsch auch allerlei andere physikalische Apparate liefert. Näheres hierüber findet sich in den Preisverzeichnissen am Schlusse des Buches.

Die Anstellung der im Folgenden beschriebenen Experimente erfordert einen Aufwand von etwa 50 Thalern oder noch etwas mehr; wer soviel auch nach und nach nicht ausgeben kann, der wird freilich darauf verzichten müssen, die Versuche einigermaßen vollständig durchzumachen, doch lassen sich eine große Zahl Experimente auch mit ganz geringen Mitteln anstellen. Hammer und Zange finden sich in jeder Haushaltung; ein einfaches Schraubstöckchen, ein Feilkloben, einige Feilen, etwas Blech und Draht, eine Spirituslampe, eine Partie Glasröhren und ein oder zwei Retortenhalter reichen schon zu vielem hin und wären zu allererst zu beschaffen.

Das Unentbehrlichste für den, der eine wirkliche Anwendung von diesem Buche machen will, ist Geduld. Geschicklichkeit in praktischen Dingen, in der Bearbeitung der Metalle, des Glases und im eigentlichen Experimentiren ist nur durch Uebung zu erwerben und da auch die beste schriftliche Auseinandersetzung nicht im Stande ist, jeden Fehler vorauszusehen, den der Lernende machen kann, so wird hier und da die eigene Erfahrung den Lehrmeister machen müssen; was das erste Mal nicht gelingt, das probire man von neuem, man probire aber nicht gedankenlos ins Blaue hinein, sondern suche durch Nachdenken den Grund des Mißlingens zu finden. Das Zustandebringen eines Apparates, das Gelingen eines Versuches lohnt die aufgewendete Mühe und die erworbene Geschicklichkeit ist auch für die Folge nie unnütz; Gelegenheit, sie zu verwerthen findet sich auch für den, dessen eigentliche Thätigkeit später eine ganz andere Richtung nimmt.

In nicht geringerem Grade, als zum Experimentiren, ist Geduld erforderlich für das Verständniß der physikalischen Lehren; neue Thatsachen,

eine neue Denk- und Anschauungsweise bereiten dem Anfänger jedesmal Schwierigkeiten, die beim mündlichen Unterrichte zum Theil dadurch gehoben werden können, daß der Lehrer sich durch Fragen vergewissert, was der Lernende richtig und was er falsch oder gar nicht verstanden hat und daß er danach das Falsche berichtigt, das Fehlende ergänzt. Beim Selbststudium nach einem Buche kann der Lernende nur durch eigene Ausdauer diese Schwierigkeiten überwinden, mit Bezug darauf mögen hier einige Worte des durch seine wissenschaftlichen Forschungen, wie durch seine populären Darstellungen gleich hochstehenden englischen Physikers Tyndall*) Platz finden:

„Ich kann Knaben, welche Physik studiren, in der That nicht genug empfehlen, daß sie sich gewöhnen, bei Gegenständen zu verweilen, welche auf den ersten Blick schwierig erscheinen; es ist wirklich wunderbar, was Geduld hier vollbringen kann und kein Vergnügen kommt dem gleich, das ein Knabe empfindet, wenn er seine Ausdauer durch die Ueberwindung einer Schwierigkeit belohnt sieht."

*) Tyndall, Natural philosophy.

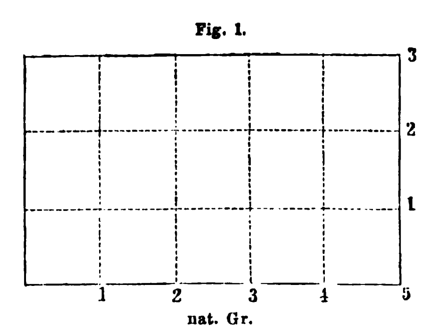
Die Eigenschaften der Körper.

1. Räumliche Ausdehnung, Maße, Inhaltsberechnung. — Unter den mannichfachen Eigenschaften, die wir an den Körpern unserer Umgebung beobachten, sind einige allen Körpern gemeinsam, so verschiedenartig diese sonst sein mögen. Die augenfälligste unter diesen allgemeinen Eigenschaften ist die räumliche Ausdehnung, die sich bei den meisten Körpern unmittelbar zu erkennen giebt. An einem Stück Holz, an einem Buche, an tausend anderen Dingen sehen wir unmittelbar, daß sie irgend eine Länge, eine Breite und eine Dicke besitzen und diese Ausdehnungen nach dreierlei verschiedenen Richtungen (die Dimensionen) eines Körpers machen zusammen das aus, was wir seine räumliche Ausdehnung nennen. Zuweilen bezeichnet man die einzelnen Dimensionen mit anderen Namen, so nennt man bei Gebäuden das, was man an anderen Körpern die Breite nennt, häufig die Tiefe, immer aber sind die dreierlei verschiedenen Ausdehnungen vorhanden. Freilich ist manchmal eine davon, oder es sind ihrer zwei so klein, daß es scheinen könnte, als besäße ein Körper nur zwei, oder nur eine Dimension. Bei einem Blatt Seidenpapier, noch mehr bei einem Stückchen Goldblatt, wie es die Buchbinder verwenden, sind Länge und Breite merklich genug, die Dicke aber ist so klein, daß es besonderer Mittel und Wege bedarf, um sie messen oder auch nur wahrnehmen zu können. Legt man einige Hundert Blättchen Seidenpapier aufeinander und preßt sie schwach oder faltet man ein größeres Stück solches Papier vielfach zusammen, so erhält man eine Schicht von meßbarer Dicke, von mäßig feinem Seidenpapier sind etwa 500 Blättchen nöthig, um eine Schicht von 1 Centimeter Dicke zu bilden. Vom feinsten Blattgold würde man etwa 10 000 Blättchen aufeinander schichten müssen, um nur eine Lage von 1 Millimeter Dicke zu erhalten, immer aber ist eine, wenn auch noch so geringe Dicke bei diesen Blättchen, welche schon ein leiser Lufthauch zerreißt, vorhanden. Ein Faden, wie man ihn von dem Cocon einer Seidenraupe abwickelt, ist so dünn, daß man mit bloßem Auge nur seine Längenausdehnung wahrnehmen kann, er besitzt aber auch eine gewisse Breite und Dicke ($^1/_{100}$ Millimeter), wie man mit einem Vergrößerungsglase leicht erkennt.

Zum Messen der Dimensionen dient bei physikalischen Arbeiten fast ausschließlich das metrische Maß. Ein Meter ist der 40 000 000[ste] Theil eines Erdmeridians, d. h. eines Kreises, den man auf der Erdoberfläche

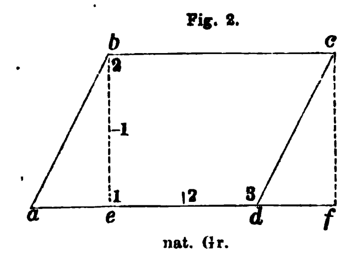
durch die beiden Pole der Erde gezogen denkt. Das Meter wird bekanntlich in 10 Decimeter = 100 Centimeter = 1000 Millimeter eingetheilt ($1^{m} = 10^{decim} = 100^{cm} = 1000^{mm}$). Um die Ausdehnung von Flächen und die räumliche Größe von Körpern vergleichen zu können, braucht man außer dem Längenmaß noch das Flächen- oder Quadratmaß und das Körper- oder Cubicmaß. So, wie man beim Ausmessen einer Länge untersucht, wie viel mal so groß diese ist, als eine bestimmte, andere Länge, die wir die Maßeinheit nennen und als welche wir je nach der Größe der zu messenden Länge das Meter, Decimeter, Centimeter oder Millimeter benutzen, so muß man bei der Ausmessung einer Fläche ermitteln, wieviel mal so groß diese ist, als eine andere, bestimmte Fläche, die wir die Flächenmaßeinheit nennen. Als Einheit des Flächenmaßes wählt man stets ein Quadrat, d. h. eine ebene, rechteckig gleichseitige Fläche, wovon jede Seite gleich einer Einheit des Längenmaßes ist; man hat also Quadratmeter, Quadratdecimeter u. s. w. Die Größe einer Fläche läßt sich nicht unmittelbar messen, sie wird immer aus den Dimensionen der Fläche durch Rechnung gefunden. Bei einer rechteckigen Fläche (Fig. 1) ergiebt sich unmittelbar, daß man hintereinander so viele Flächeneinheiten anordnen kann, als die Fläche Längeeinheiten lang ist (in der Fig. also 5) und nebeneinander so viele Reihen solcher Quadrate, als die Fläche Längeneinheiten breit ist (in der Figur 3 Reihen von je 5), man erhält also die Flächengröße eines Rechtecks, wenn man seine beiden Dimensionen multiplicirt, Fig. 1 ist $3 \cdot 5 = 15$ Quadratcentimeter groß. Ein von vier paarweise parallelen, aber nicht senkrecht aufeinander stehenden Seiten begrenzte Fläche (Fig. 2; ein schiefes Parallelogramm) a b c d läßt sich in ein Rechteck verwandeln, wenn man das Stück a b e abschneidet und bei c d f ansetzt, folglich ist auch das Parallelogramm a b c d gleich groß mit dem Rechteck e b c f und man findet seine Größe, wenn man von

Fig. 1.



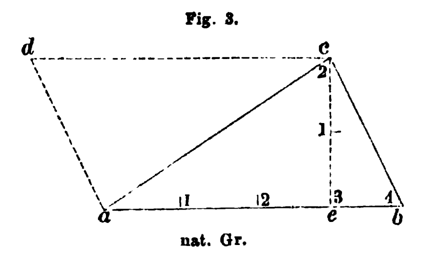
nat. Gr.

Fig. 2.



nat. Gr.

Fig. 3.



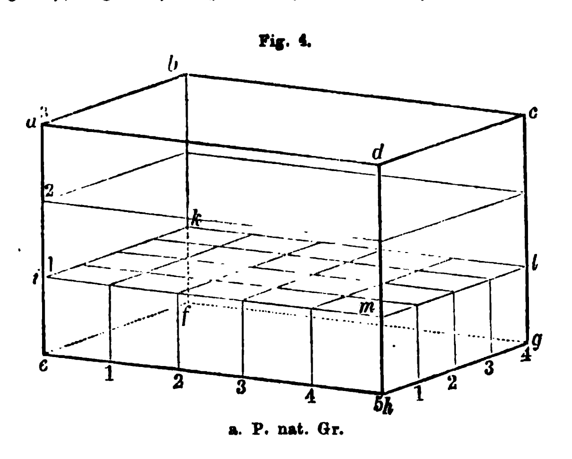
nat. Gr.

zwei parallelen Seiten die Länge der einen (a d oder b c) mit dem Abstand beider (e b) multiplicirt; a b c d (Fig. 2) ist $2 \cdot 3 = 6$ Quadratcentimeter groß.

Jedes Dreieck läßt sich als die Hälfte eines Parallelogramms ansehen, a b c (Fig. 3) ist die Hälfte von a b c d, man erhält also die Größe eines Dreiecks, wenn man eine seiner Seiten (a b) mit dem senkrechten Abstand

der gegenüberliegenden Ecke (e c) multiplicirt und das Produkt halbirt; a b c (Fig. 3) ist $\frac{2 \cdot 4}{2} = 4$ Quadratdecimeter groß[1]. Wie man zur Ausmessung der Flächen eine gleichseitig rechteckige Fläche als Einheit nimmt, so benutzt man als Einheit des körperlichen Maßes einen gleichseitig rechteckigen Raum, d. h. einen Würfel (cubus), von dessen Seite jede gleich irgend einer Einheit des Längenmaßes ist, man hat also Cubicmeter, Cubicdecimeter u. s. f. Bei physikalischen Messungen braucht man besonders oft das Cubiccentimeter, man hat deshalb dafür eine eigene Abkürzung gewählt, nämlich „^{cc}". Der räumliche Inhalt (das Volumen) von rechteckigen Körpern ist leicht zu ermitteln. Es sei z. B. das Volumen des Körpers a b c d e f g h Fig. 4 zu bestimmen[2]. Es ist

Fig. 4.

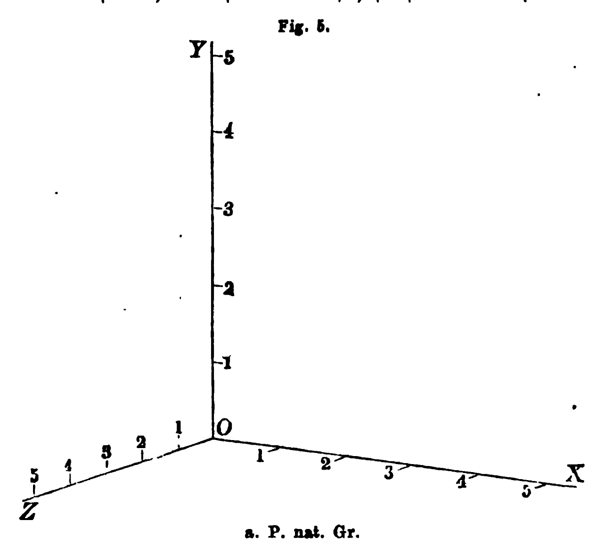


a. P. nat. Gr.

---

[1] Den Inhalt eines Kreises findet man, wenn man den Halbmesser (d. i. den Abstand des Kreisumfangs vom Mittelpunkte) multiplicirt mit sich selbst und das Product noch mit der Zahl 3, 1416. Diese Zahl, welche angiebt, wieviel mal so groß der Umfang eines Kreises ist, als sein Durchmesser, heißt die Ludolph'sche Zahl und wird häufig kurz mit dem griechischen Buchstaben π (sprich pi) bezeichnet; genauer ist sie = 3,1415926, annähernd ist sie gleich $^{22}/_{7}$. Ein Kreis von 6^{cm} Durchmesser oder 3^{cm} Halbmesser hat einen Flächeninhalt von 3·3·3,1416 = 28,2744 Quadratcentimeter.

Fig. 5.



a. P. nat. Gr.

[2] Viele Figuren dieses Werkchens, in denen 3 Dimensionen hervortreten sollen, nämlich alle mit „a. P." bezeichneten, sind in der Art ausgeführt, welche man als anisometrische Parallelprojection bezeichnet (s. Weisbach, axonometrisches Zeichnen). Der Maßstab ist bei den mit „nat. Gr." bezeichneten Figuren so gewählt, daß die Ausdehnung von oben nach unten, O Y, Fig. 5, in ihrer wirklichen Größe erscheint, die Ausdehnung von links nach rechts, O X, in neun Zehntel, die Ausdehnung von vorn nach hinten, O Z, in der Hälfte der wahren Größe.

leicht einzusehen, daß man auf die Bodenfläche soviele Cubiccentimeter nebeneinander gestellt denken kann, als diese Fläche Quadratcentimeter groß ist, bei einem 5^{cm} langen und 4^{cm} breiten Körper also 20^{cc}; dadurch erhält man eine Schicht i k l m e f g h von 1^{cm} Dicke und solcher Schichten kann man so viele übereinanderlegen, als der Körper Centimeter hoch ist, im vorliegenden Falle 3 Schichten von je 20^{cc}, der ganze Körper faßt also $3 \cdot 20 = 60^{cc}$ Man braucht demnach, um das Volumen eines rechteckigen Körpers zu erhalten, nur seine 3 Dimensionen zu multipliciren. Bei anders gestalteten Körpern, welche von zwei parallelen Ebenen und im übrigen von parallelen Wänden begrenzt sind, wie Fig. 6 und 7, erhält man das Volumen, wenn

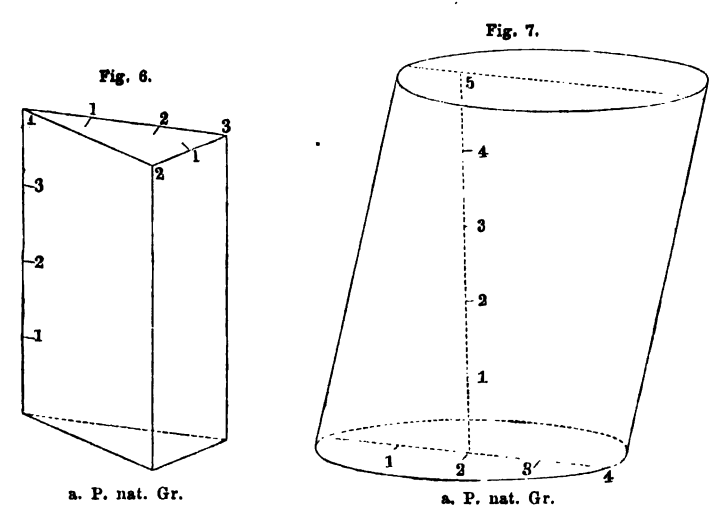


Fig. 6. a. P. nat. Gr.

Fig. 7. a. P. nat. Gr.

man die Größe von einer jener Flächen mit dem senkrechten Abstand beider multiplicirt. Fig. 6 ist $\frac{3 \cdot 2}{2} \cdot 4 = 12^{cc}$, Fig. 7, $2 \cdot 2 \cdot 3{,}1416 \cdot 5 = 62{,}^{cc}832$ groß [3].

Die abgekürzten Bezeichnungen der Maße, ^{m}, ^{cm}, ^{mm}, ^{cc} u. s. f. schreibt man bei Decimalbrüchen meist über das Komma, $62{,}^{cc}832$ lies also zweiundsechzig und achthundertzweiunddreißigtausendel Cubiccentimeter.

Es ist selbstverständlich, daß die ähnlich benannten Einheiten des Flächenmaßes untereinander in einem anderen Verhältniß stehen, als die des Längenmaßes und die des Cubicmaßes abermals in einem anderen. Ein Quadratmeter ist ein Viereck von 100^{cm} Länge und 100^{cm} Breite und enthält demnach $100 \cdot 100 = 10\,000$ Quadratdecimeter. Ein Cubicdecimeter ist ein Würfel von 10^{cm} Länge, Breite und Höhe und enthält demnach $10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000^{cc}$.

Einen Ueberblick über die Verhältnisse der verschiedenen Maßarten giebt die folgende kleine Tabelle:

---

[3] Den Inhalt einer Kugel findet man, wenn man den Durchmesser zwei Mal mit sich selbst und dann noch mit der Zahl π multiplicirt und das Product durch 6 dividirt; das Volumen einer Kugel von 10^{cm} Durchmesser ist $\frac{10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 3{,}1416}{6} = 523{,}^{cc}6$.

Meter	Decimeter	Centimeter	Millimeter
1	10	100	1000
	1	10	100
		1	10

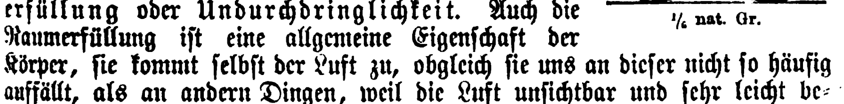
Quadratmeter	Quadratdecimeter	Quadratcentimeter	Quadratmillimeter
1	100	10 000	1 000 000
	1	100	10 000
		1	100

Cubicmeter	Cubicdecimeter	Cubiccentimeter	Cubicmillimeter
1	1 000	1 000 000	1 000 000 000
	1	1 000	1 000 000
		1	1 000

Das Cubicdecimeter wird, wenn man es als Maß für Flüssigkeiten verwendet, mit dem Namen Liter bezeichnet, ein Liter ist also = 1000^{cc}.

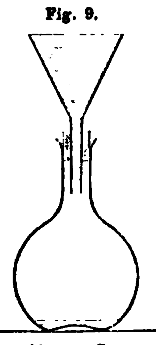
2. Raumerfüllung. Wie dem Auge die Ausdehnung, so giebt sich bei vielen Körpern leicht dem Gefühl eine andere wichtige Eigenschaft zu erkennen. Versuchen wir in den Raum eines Körpers einzudringen, in denselben hineinzugreifen, so gelingt dies bei manchen, bei einem Stück Holz, bei einem Steine gar nicht, bei andern, bei einem Klumpen Thon, einem Glase voll Wasser nur, indem wir die Masse des Körpers hinwegdrängen von der Stelle, wo wir mit der Hand hinwollen. Der Stoff (die Materie), woraus ein Körper besteht, erfüllt den Raum dieses Körpers derart, daß nicht gleichzeitig irgend ein anderer Körper in demselben Raume sein kann. Diese Eigenschaft der Körper heißt ihre Raumerfüllung oder Undurchdringlichkeit. Auch die Raumerfüllung ist eine allgemeine Eigenschaft der Körper, sie kommt selbst der Luft zu, obgleich sie uns an dieser nicht so häufig auffällt, als an andern Dingen, weil die Luft unsichtbar und sehr leicht beweglich ist. Tauchen wir aber ein nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauch leeres, d. h. ein nur mit Luft gefülltes Trinkglas verkehrt in ein größeres Gefäß (Einmachglas) mit Wasser (Fig. 8) so zeigt sich, daß kein Wasser eindringt, weil keine Luft entweichen kann; vielmehr muß das Wasser des größeren Gefäßes ausweichen, um der mittelst des kleinen Glases hineineingedrückten Luft Platz zu machen, das Wasser steigt in dem größeren Gefäße oder läuft über, wenn dieses schon anfangs voll war. Gewöhnlich kann die Luft aus einer Flasche ungehindert entweichen, wenn wir diese mit einer Flüssigkeit füllen wollen. Setzt man aber auf die Flasche einen Trichter mit engem Rohre (am besten von Glas) mittelst eines durchbohrten Korkes luftdicht auf (Fig. 9), so kann die Luft nicht neben dem einfließenden Wasser entweichen und die Flasche läßt sich auch von oben nicht füllen. Eine kleine Menge Wasser dringt allerdings bei diesem Versuche, ebenso wie bei dem vorigen, in das mit Luft erfüllte Gefäß ein, weil die Luft, wie

Fig. 8.



$^1/_4$ nat. Gr.

Fig. 9.



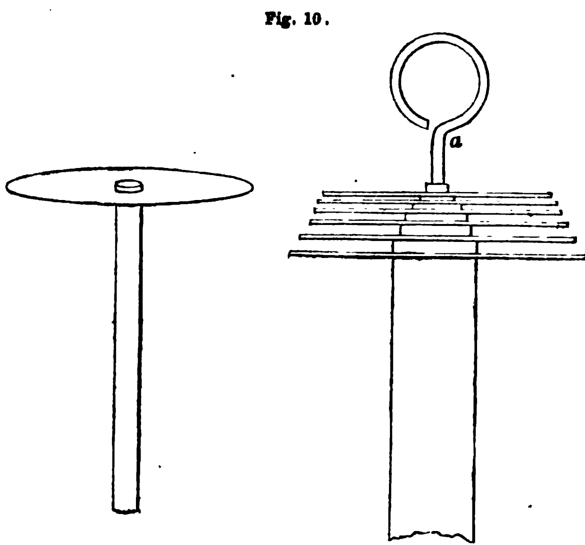
$^1/_6$ nat. Gr.

später ausführlicher gezeigt wird, ein zusammendrückbarer Körper ist, dessen Volumen durch den Druck des Wassers etwas verkleinert wird.

Korke für ähnliche Zwecke, wie der eben erwähnte, muß man sich aus einem größeren Vorrathe bei einem Droguisten oder in einer Apotheke sorgfältig aussuchen und dabei besonders darauf achten, daß sie recht dicht, frei von Löchern und ziemlich weich sind. Man nimmt dieselben immer etwas dicker, als der Weite der Oeffnung zu entsprechen scheint, für welche sie bestimmt sind und macht sie durch gelindes Klopfen mit einem Hammer oder durch Hin- und Herrollen zwischen einem Brettchen und der Tischplatte so weich, daß sie streng in die Oeffnung passen, ohne doch die Glaswandung zu zersprengen. Findet man keinen passenden Kork, so muß man einen solchen aus einem größeren Korke herstellen. Mittelst eines recht scharfen Messers, das man ziehend, wie eine Säge, bewegt, läßt sich Kork schneiden. Meist wird man ihn nur roh zuschneiden und dann mit einer flachen Feile in die richtige Form bringen.

Das Durchlöchern der Korke geschieht am bequemsten mit Hülfe eigener Korkbohrer, dünnwandiger, beiderseits offener, an einem Ende mit einem Griffe versehener, am anderen Ende zugeschärfter, messingner Röhrchen, von denen 6 bis 10 Stück von 3 bis 15^{mm} Weite zusammengehören. Man dreht einen solchen Bohrer unter gelindem Drücken durch den Kork hindurch; um das im Bohrer steckenbleibende Korkstück zu entfernen, dient ein Messingstäbchen a Fig. 10. Ist ein Bohrer stumpf geworden, so kann man ihn mittelst einer flachen und einer runden Feile von außen und innen wieder zuschärfen. Eine runde Feile, einen sogenannten Rattenschwanz braucht man oft auch, um die gebohrten Löcher innen noch besser zu glätten. In Ermangelung von Korkbohrern kann man auch blos mittelst des Rattenschwanzes die mit einer Pfrieme durch den Kork gestoßenen Löcher passend erweitern. Die Löcher zum Durchstecken von Glasröhren sollen so weit sein, daß die mit einer Spur von Talg oder Baumöl bestrichene Röhre eben ohne Gefahr des Zerbrechens durchgeschoben werden kann.

Fig. 10.



$^{2}/_{3}$ nat. Gr.

3. Starre, tropfbare, gasige Körper; Aggregatzustände. — Manche Körper, wie Holz, Eisen, Steine u. s. w., besitzen eine bestimmte Form, welche sie beibehalten, solange sie nicht durch eine beträchtliche Gewalt in eine andere Form gebracht werden; solche Körper nennen wir feste oder richtiger noch starre. Die Körper, welche wir gewöhnlich als Flüssigkeiten bezeichnen, wie das Wasser, Oel u. dergl., haben keine unveränderliche Form, wenn wir sie aus einem Gefäße in ein anderes bringen, so nehmen sie immer sogleich die Form des neuen Gefäßes an, sie zeigen aber ein Bestreben, eine gewisse Gestalt anzunehmen, nämlich kugelförmige Tropfen zu bilden. Besser als an den beim langsamen Ausfließen einer

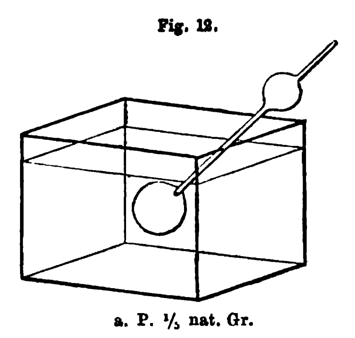
Flüssigkeit herabfallenden Theilchen kann man die Tropfenform beobachten, wenn man eine Flüssigkeit in einer anderen schweben läßt. Oel ist leichter als Wasser, es schwimmt auf diesem, und Weingeist (Spiritus) ist wiederum leichter als Oel. Wasser und Weingeist vermischen sich leicht, wenn man sie zusammenbringt, keines von beiden aber mischt sich mit Oel. Durch Vermischen von Wasser und Weingeist läßt sich nun eine Flüssigkeit herstellen, welche gerade so schwer ist wie Oel (Baumöl) und in der das Oel weder untersinkt, noch schwimmt. Man bringt in Wasser mittelst eines Glasstäbchens oder eines Hölzchens eine ganz kleine Menge Oel und gießt dann unter häufigem Umrühren so lange Weingeist zu, bis man sieht, daß die kleinen Oeltröpfchen weder zu Boden sinken, noch an die Oberfläche steigen. Man braucht dazu etwa ebenso viel Weingeist, als man Wasser angewendet hat. Es geschieht nicht leicht, daß man das Gemenge der zwei Flüssigkeiten ganz genau gleich schwer mit dem Oel erhält, zumeist bleibt der untere Theil der Flüssigkeit etwas wasserhaltiger und schwerer, der obere etwas weingeistreicher und leichter und das Oel begiebt sich in die Mitte. Man taucht nun einen kleinen Stechheber (**Pipette**), Fig. 11, mit der unteren Oeffnung in Oel, saugt mit dem Munde an der oberen Oeffnung, bis sich derselbe fast mit Oel gefüllt hat, verschließt die obere Oeffnung mit dem Finger, taucht den Stechheber bis fast in die Mitte des Flüssigkeitsgemisches ein und läßt dann die obere Oeffnung wieder frei, sodaß das Oel ausfließt, Fig. 12. Man kann den Stechheber wiederholt füllen und in das Flüssigkeitsgemisch entleeren und auf diese Weise Oelkugeln von mehr als 3^{cm} Durchmesser bilden. Rührt man die Flüssigkeiten gelinde um, so wird der Oeltropfen mannichfach verzerrt, nimmt aber bei eintretender Ruhe immer Kugelform an. Rührt man stärker, so wird die Oelmasse zerrissen und jeder einzelne Theil bildet selbstständig eine Kugel.

Fig. 11.

1/5 nat. Gr.

Für diesen Versuch und manche andere ist es bequem, ein viereckiges Glasgefäß mit ebenen Wänden zu haben, weil gekrümmte Flächen die im Inneren befindlichen Gegenstände verzerrt erscheinen lassen und man nur beim Hineinsehen von oben die wahre Form erblickt. Viereckige Glaströge sind aber ziemlich kostspielig und nicht überall zu haben; am leichtesten gelangt man in Besitz eines viereckigen Glasgefäßes durch Absprengen einer viereckigen Flasche (wie man sie als Standflaschen in Branntweinhandlungen findet) mit Hülfe von **Sprengkohle**. Ein Sprung in einem nicht zu dicken Glasstück läßt sich nämlich in beliebiger Richtung weiter führen, wenn man immer einige Millimeter von seinem Ende entfernt eine glühende Kohle hält, der er dann nachfolgt. Eine für diesen Zweck gut brauchbare Kohle erhält man auf folgende Weise: 4 Gramm[4] zerstoßenes Benzoëharz und ebenso viel fester Storax (es giebt auch flüssigen) werden zusammen in einem Gläschen mit 25^{cc} Weingeist (etwa 20 Gramm) übergossen und unter öfterem Schütteln 1 Tag lang stehen gelassen.

Fig. 12.



a. P. 1/5 nat. Gr.

---

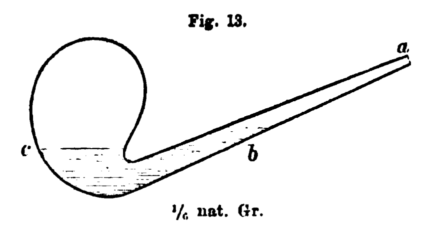
[4] Ueber das Grammgewicht und die Herstellung von Meßgefäßen zum Abmessen von Flüssigkeiten s. unter „Gewicht".

Ferner löst man 20 Gramm arabisches Gummi und 8 Gramm Gummi Traganth in 120^{cc} Wasser (120 Gramm), das man in einem kleinen Blechtöpfchen unter stetem Umrühren bis zum völligen Zergehen der festen Substanzen kocht, indem man von Zeit zu Zeit soviel Wasser nachgießt, als verdampft. In einem Mörser oder einer Reibschaale werden dann die wässrige und die weingeistige Auflösung (sammt dem etwa gebliebenen Bodensatz) und soviel fein gepulverte Holzkohle gut untereinander gearbeitet, daß ein dicker Brei entsteht, wozu etwa 70 bis 80 Gramm Holzkohle nöthig sind. Die breiige Masse rollt man auf einem Brettchen mit den Fingern zu Stäbchen von 10 bis 15^{cm} Länge und 6 bis 8^{mm} Dicke, die man an der Luft trocknen läßt, was 1 bis 2 Tage dauert. Ein solches Stäbchen brennt, an einem Ende in einer Lichtflamme entzündet, langsam weiter, wenn man von Zeit zu Zeit gelinde darauf bläst. Die Sprengkohle muß dicht auf das Glas gehalten (aber nicht aufgedrückt) und gelegentlich gedreht werden, damit sie nicht einseitig brennt. Um am Rande eines Glasstücks (bei einer abzusprengenden Flasche am Halse) zuerst einen Sprung zu erhalten, feilt man mit einer guten englischen, dreikantigen Feile einen Strich in das Glas, und erhitzt diesen mit der Sprengkohle bis zur Bildung des Sprunges. Dies erfordert manchmal stärkeres Blasen und ein wenig Geduld; ist aber sicherer als wenn man den Rand des Glases in einer Flamme erhitzt und dann einen Wassertropfen darauf bringt, wobei oft mehrere unregelmäßige Sprünge entstehen. Ehe man daran geht, einen Gegenstand zu einem bestimmten Zweck zu sprengen, wird man sich zweckmäßig an einigen Scherben von Fenster- oder Flaschenglas üben. Braucht man ein Stück Sprengkohle nicht mehr, so steckt man dasselbe 3 bis 4^{cm} tief in ein Gefäß mit Streusand, es verlöscht darin schnell und bleibt trocken, so daß man es in jedem Augenblicke wieder entzünden kann.

Die beim Absprengen entstehenden Ränder des Glases kann man auf einem gewöhnlichen Schleifsteine, den man langsam umdreht, vorsichtig abschleifen, um ihnen die Schärfe zu nehmen.

Wegen der Fähigkeit, Tropfen zu bilden, werden die Körper, welche man gewöhnlich flüssig nennt, auch trofbar-flüssige oder kurzweg tropfbare Körper genannt. Die luftartigen Körper sind ebenfalls flüssig, bilden aber keine Tropfen, sondern zertheilen sich vollständig, wenn sie nicht in einem Gefäße eingeschlossen sind. Die Luftmasse, welche die Erde ringsum in einer Höhe von einigen Meilen umgiebt, heißt die Atmosphäre und die gewöhnliche Luft wird zum Unterschied von anderen Luftarten als atmosphärische Luft bezeichnet.

Fig. 13.



1/6 nat. Gr.

Die Luftarten haben nicht nur keine bestimmte Form, sondern auch kein bestimmtes Volumen. Man braucht nur den aus einer Esse, von einem Räucherkerzchen oder einer Cigarre aufsteigenden Rauch zu beobachten, um zu sehen, daß er sich mehr und immer mehr ausbreitet, bis er so verdünnt geworden ist, daß er für unser Auge verschwindet. Dieser Rauch ist nichts anderes als Luft, welcher geringe Mengen von äußerst fein zertheiltem Ruß und einigen anderen Körpern beigemengt sind, die sie für uns sichtbar machen. Auch an der reinen, atmosphärischen Luft läßt sich die Veränderlichkeit des Volumens leicht beobachten. Wenn man eine gläserne Retorte, wie man sie zu physikalischen und chemischen Zwecken braucht, zum Theil mit Wasser füllt und umkehrt, Fig. 13, und an der Mündung a mit dem Munde saugt, so steigt das Wasser bei b und sinkt bei c, indem die über c befindliche Luft sich ausdehnt; faßt man hingegen die Mündung a fest zwischen die Lippen und bläst kräftig hinein, so sinkt das Wasser bei b und steigt bei c,

die Luft wird zusammengedrückt. Hält man das Rohr der Retorte nur ganz wenig schräg, füllt es bis a mit Wasser und richtet es dann ganz oder fast

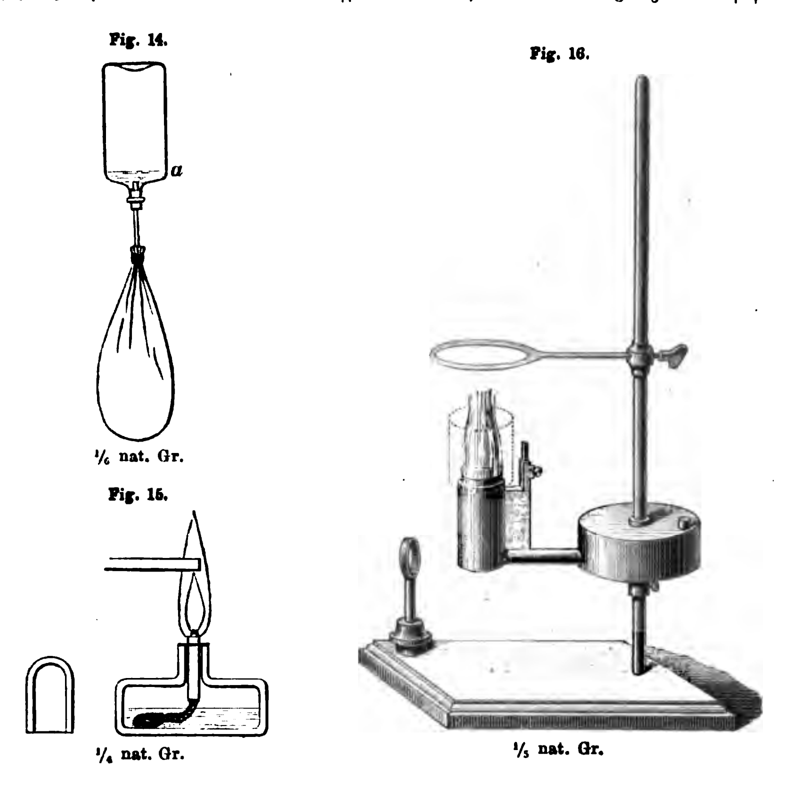


Fig. 14. 1/6 nat. Gr.
Fig. 15. 1/4 nat. Gr.
Fig. 16. 1/5 nat. Gr.

senkrecht nach oben, so sinkt das Wasser bei a ebenfalls ein wenig, weil die aufgerichtete, höhere Wassersäule schon durch ihr Gewicht die Luft etwas zusammendrückt. Auch durch einen Druck mit der Hand läßt sich die Luft zusammenpressen. In eine kleine Flasche (Medicinglas) paßt man einen Kork recht gut ein, durch den eine Glasröhre gesteckt ist, an deren äußeres Ende eine kleine Thierblase (Kalbsblase) festgebunden ist. Man füllt die Blase durch das Glasrohr ganz mit Wasser, indem man sie mittelst des Korkes hält und bringt die Flasche in umgekehrter Lage darauf,

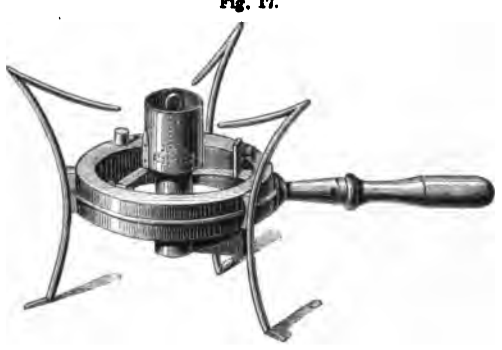
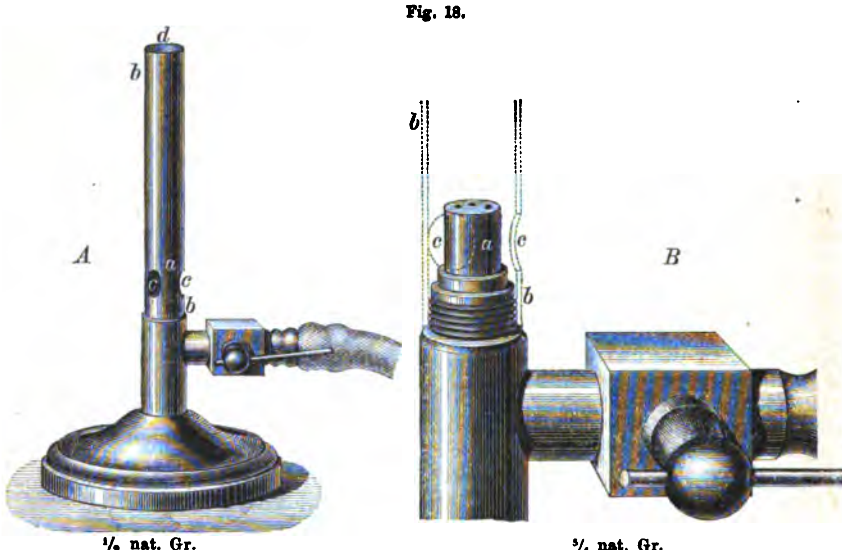

Fig. 17. 1/6 nat. Gr.

Fig. 14, drückt man jetzt die Blase kräftig in der Hand zusammen, so wird ein Theil des Wassers in die Flasche dringen (bis a); läßt man mit dem

Druck der Hand nach, so dehnt sich die zusammengepreßte Luft wieder aus und treibt das Wasser aus der Flasche in die Blase zurück.

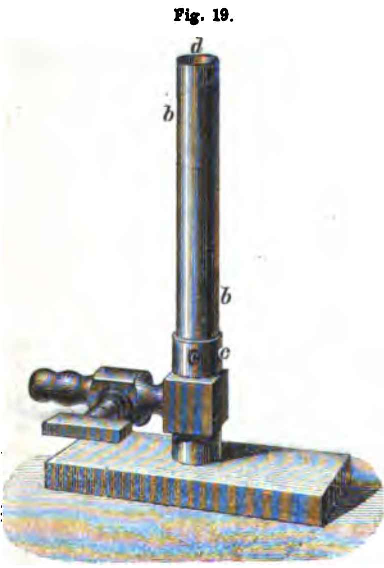
Fig. 18.



½ nat. Gr. ¾ nat. Gr.

Um von einem längeren Glasrohr ein Stück für irgend einen Zweck abzutrennen, ritzt man das Rohr an der betreffenden Stelle mit einer dreikantigen Feile oder mittelst eines sogenannten Glasmessers, d. i. einer Klinge aus sehr hartem Stahl, deren Schneide ganz roh zugeschliffen ist. Ein stumpf gewordenes Glasmesser schleift man auf einem groben Schleifsteine ohne Wasser und ohne es nachher auf einem Wetzsteine abzuziehen. Glasröhren unter 1^cm äußerem Durchmesser ritzt man nur an einer Seite und bricht sie dann entzwei, indem man die beiden Daumen der geritzten Stelle gegenüber an das Glas setzt. Stärkere Röhren ritzt man rund herum und sprengt sie mit Sprengkohle entzwei. Die beim Abtrennen von Glasröhren entstehenden, scharfen Ränder sollen immer abgestumpft werden, ganz besonders bei Röhren, welche man durch einen Kork stecken will. Dickwandige, weite Röhren schleift man häufig auf einem Schleifstein ab, dünnere Röhren erhitzt man zweckmäßiger am Ende bis zum beginnenden Schmelzen, dabei runden sich die Ränder von selbst zu. Zum Erwärmen bedient man sich des Weingeistes oder, wenn man es haben kann, des Leuchtgases. Für Weingeist hat man zweierlei Lampen; um kleinere Gegenstände zu erwärmen oder eine mäßige Hitze hervorzubringen, einfache von der Form Fig. 15, zur Erzielung einer kräftigen Wirkung solche mit doppeltem Luftzug (sogenannte Berzeliuslampen), Fig. 16 oder 17. Sobald man

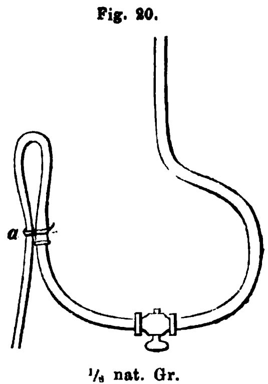
Fig. 19.



¼ nat. Gr.

eine Weingeistlampe nicht mehr braucht, muß man den Deckel darauf decken, weil sonst Weingeist verdunstet und im Dochte sich Wasser ansammelt, welches das nächste Anzünden der Lampe erschwert. Die aufgeschliffenen, gläsernen Deckel der kleinen Weingeistlampen zerspringen leicht, man ersetzt sie dann durch einen lose schließenden Deckel von Blech. Die gewöhnliche Leuchtgasflamme berußt die Körper, welche man hineinhält; um Leuchtgas zum Heizen zu benutzen, dient eine besondere Vorrichtung, der Bunsen'sche Brenner, Fig. 18 oder 19. Durch eine oder mehrere feine Oeffnungen im oberen Theile des kleinen Röhrchens a strömt das Gas in ein weiteres Rohr b b, in welches gleichzeitig durch eine oder mehrere, unten seitlich angebrachte Oeffnungen c c Luft einströmen kann, welche sich mit dem Leuchtgas mischt und bewirkt, daß dieses bei d mit nicht leuchtender und nicht rußender, blaßblauer Flamme brennt, welche der Weingeistflamme ähnlich sieht, aber bedeutend heißer ist. Gespeist wird ein solcher Brenner immer durch einen Kautschuckschlauch, der über das Ansatzstück e geschoben wird. Zweckmäßig ist es, wenn in diesem Ansatzstück ein Absperrhahn angebracht ist. Ein solcher Brenner darf nur bei d, nie innen (bei a) brennen; läßt sich die Flamme nicht klein machen, ohne daß sie ins Innere zurückschlägt, so sind die Luftlöcher c zu groß, sind sie hingegen zu klein, so brennt die Flamme bei d nicht ganz blau, sondern theilweise gelb. Hat man an der Gasleitung keine Vorrichtung zum Anstecken eines Kautschuckschlauches, so kann man allenfalls einen Schlauch unmittelbar über einen gewöhnlichen Brenner schieben, Fig. 20, nur muß man denselben etwas verbinden (a), damit er nicht umknickt.

Fig. 20.



$^1/_4$ nat. Gr.

Die Flamme des Weingeistes sowol, wie die des Gases ist nicht in der Mitte am heißesten, sondern ohngefähr in zwei Dritttheilen ihrer Höhe, dahin hält man denn auch das abzuschmelzende Ende der Glasröhre, wie es in Fig. 15 angedeutet ist.

Die im feuchten Zustande schlüpfrige Blase gleitet leicht von dem Rohre ab, um das zu verhindern, paßt man einen Kork recht streng auf das Rohr und bindet erst auf diesen die Blase.

Außer der atmosphärischen Luft giebt es noch zahlreiche andere Luftarten, welche meist Gase genannt werden. Luftartige Körper heißen darum auch gasförmig oder gasig.

Viele Körper können alle die jetzt betrachteten Formen annehmen, das Wasser beispielsweise, das für gewöhnlich tropfbar ist, wird in der Kälte starr (Eis), bei genügender Wärme gasförmig (Dampf). Diese dreierlei Zustände, in denen die Körper vorkommen, werden die Aggregatzustände genannt. Die unterscheidenden Merkmale sind, nochmals kurz zusammengestellt:

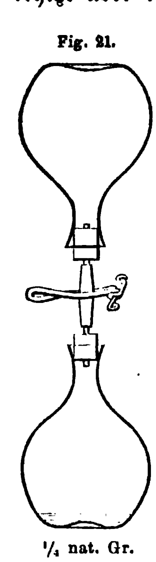
Starre Körper: Bestimmte Form, bestimmtes Volumen.
Tropfbare Körper: Unbestimmte Form, bestimmtes Volumen.
Gasige Körper: Unbestimmte Form, unbestimmtes Volumen.

4. Cohäsion und Expansion. Die Theilchen eines starren Körpers werden durch eine Kraft, die Zusammmenhangskraft (Cohäsion) in ihrer Lage gegeneinander gehalten, die Theilchen können nicht ohne Anwendung von Gewalt voneinander getrennt werden. Ganz anders verhalten sich die gasigen Körper; bei diesen ist nicht nur keine Gewalt nöthig, um die Theilchen voneinander zu entfernen, sie zeigen vielmehr von selbst ein Bestreben, sich immer auszudehnen. Die Ausbreitung des Rauches in der Luft deutet schon darauf hin, viel deutlicher aber ist dies Bestreben der Gase, ihre Ausdehnungskraft (Expansion) wahrzunehmen, wenn sie sich in einen vollkommnen leeren Raum ausbreiten können, d. h. in einen solchen, der auch keine Luft enthält.

Es giebt manche Gase, welche nicht, wie die atmosphärische Luft, farblos und unsichtbar, sondern farbig und somit sichtbar sind und sich deshalb ganz besonders zu derartigen Versuchen eignen. Diese Gasarten sind aber sämmtlich giftig und nicht ganz einfach darzustellen, deshalb empfiehlt es sich für jemand, der mit chemischen Arbeiten nicht vertraut ist, anstatt farbiger Gase für unseren Zweck nur Rauch anzuwenden.

Zwei etwa gleich große Kochfläschchen (Glaskölbchen) werden mit recht gut schließenden Korken versehen, durch welche kurze, beiderseits offene Glasröhren hindurchgehen. Die beiden Glasröhren werden durch ein Stückchen Kautschuckschlauch verbunden, das mittelst eines Quetschhahnes verschlossen werden kann, Fig. 21. Um das eine Kölbchen luftleer zu machen, bringt man eine 6 bis 8mm hohe Schicht von Wasser hinein, setzt den dazu gehörigen Kork sammt Glasröhren, Kautschuckrohr und zweitem Kork auf und erhitzt über einer Weingeist- oder Gaslampe bis zum Sieden, während man den Quetschhahn geöffnet hält. Sobald ein kräftiger Dampfstrahl aus dem Glasrohre austritt und der Raum im Kölbchen nicht mehr trübe, sondern ganz durchsichtig ist (d. h. nicht mehr Nebel, sondern wirklichen Dampf enthält), schließt man den Quetschhahn und nimmt sogleich das Kölbchen von der Lampe, weil dasselbe sonst durch den Druck des Dampfes zerspringen könnte. Die Luft ist durch den Wasserdampf aus dem Gefäße hinausgedrängt worden und wenn man nun das Gefäß abkühlen läßt, so verwandelt sich der Dampf wieder in tropfbares Wasser, man erhält auf diese Weise einen zwar nicht vollkommen, aber für unseren Zweck genügend leeren Raum. Während der Abkühlung des ersten Kölbchens, die man durch Einlegen desselben in ein Gefäß mit frischem Wasser beschleunigen kann, steckt man ein etwa 1cm großes Stückchen Feuerschwamm an einen Draht, entzündet es und schiebt es durch den Hals des zweiten Kölbchens bis in die Mitte des Bauches. In kurzer Zeit füllt sich das Kölbchen mit dichtem Rauche, man entfernt nun den Draht mit dem Schwamm und setzt das Kölbchen auf seinen Kork fest auf. Sobald man jetzt den Quetschhahn öffnet, bringt augenblicklich ein Theil der mit Rauch gemengten Luft in das leere Kölbchen hinein. Indem sich solchergestalt die Luft auf ein größeres Volumen ausdehnt, muß sie natürlich dünner werden, was man auch daran erkennt, daß der Rauch lichter wird. Hätte man das mit Rauch erfüllte Kölbchen einfach offen hingestellt, anstatt es mit dem leeren Gefäße zu verbinden, so würde sich der Rauch zwar auch allmählig verbreitet haben, aber viel langsamer, weil die umgebende Luft seine Ausdehnung erschwert.

Fig. 21.



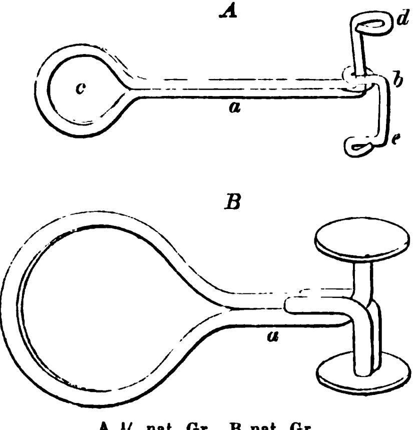
1/4 nat. Gr.

Um sich zu überzeugen, ob die Korke mit den Glasröhren dicht schließen, bringt man jedes Kölbchen bis über den Kork in ein größeres Gefäß (Topf, Einmachglas oder dgl.) voll Wasser, während man das Glasrohr zwischen die Lippen nimmt und mit dem Munde kräftig hineinbläst; ist irgend wo eine Undichtheit, so verräth sich diese durch kleine Luftbläschen, die von der betreffenden Stelle aufsteigen. Wenn die Glasröhren so kurz sind, daß man nicht gut hineinblasen kann, während man das Kölbchen untertaucht, so schiebt man auf das Glasrohr entweder einen längeren Kautschuckschlauch oder verbindet damit ein längeres Glasrohr mittelst eines kurzen Stückchens Kautschuckschlauch. Die Schläuche, welche zur beweglichen Verbindung von Röhren dienen, bestehen aus vulcanisirtem Kautschuck, d. h. aus Kautschuck, der durch

eine Beimengung von Schwefel besonders weich und dehnbar gemacht worden ist. Die vulcanisirten Schläuche sehen grau aus; außerdem hat man auch solche, denen der größte Theil des zugesetzten Schwefels wieder entzogen worden ist, sogenannte entvulcanisirte oder schwarze Schläuche. Die grauen kommen im Handel von sehr verschiedener Güte vor. Zu physikalischen Versuchen muß man durchaus ganz gute Schläuche verwenden, diese sind zwar bedeutend theurer, aber auch viel haltbarer, als schlechte. Ein guter Kautschuckschlauch muß sehr dehnbar sein, er muß sich wenigstens auf das Dreifache seiner eigentlichen Länge ausdehnen lassen, ohne an der Oberfläche feine Rißchen zu zeigen, er muß sich bequem auf ein Glasrohr schieben lassen, dessen äußere Dicke gleich der des unausgedehnten Schlauches ist und muß auf einer Schnittfläche vollkommen glatt und glänzend sehen. Gute Schläuche schließen auf einer Glasröhre von passender Weite luftdicht, ohne daß man sie besonders befestigt.

Die schwarzen Schläuche kommen im Handel nicht von so schlechter Beschaffenheit vor, wie es bei den grauen häufig der Fall ist; sie haben aber die unangenehme Eigenschaft, auf den Glasröhren sehr leicht fest zu kleben, weshalb man sie nur zu gewissen Zwecken verwenden kann.

Fig. 22.



A 1/2 nat. Gr. B nat. Gr.

Die Quetschhähne zum Verschließen der Kautschuckschläuche sind federnde Klemmen aus Messingdraht, von denen in Fig. 22 zwei verschiedene Formen dargestellt sind, deren eine A man leicht selbst herstellen kann. Ein etwa 30^{cm} langes Stück Messingdraht von ohngefähr $2,^{mm}5$ (zwei und fünf Zehntel Millimeter) Dicke, biegt man mit Hülfe einer Drahtzange (Fig. 23) und einer Flachzange (Fig. 24) zu einem Ringe c (Fig. 22) mit zwei parallel liegenden Fortsätzen a, von denen der eine, in der Figur der untere rechtwinkelig um und am Ende zu einem kleinen Ringe d gebogen wird, während der zweite, in der Figur der obere Theil zu einer Oese (b) gebogen wird, durch welche das aufgebogene Stück des unteren Theiles hindurchgeht. Das Ende des zweiten Theiles wird endlich auch umgebogen und mit einem kleinen Ringe e versehen. Um dem Quetschhahn die nöthige Federkraft zu geben, muß der Ring c flach gehämmert werden.

Fig. 23. Fig. 24.



2/3 nat. Gr. 2/3 nat. Gr.

Messing und Kupfer besitzen nämlich die Eigenschaft, weich und biegsam zu werden, wenn man sie ausglüht, durch Hämmern aber werden sie wieder hart und elastisch. Der im Handel vorkommende, blanke Messingdraht ist nicht so weich, wie ausgeglühtes Messing, aber noch ziemlich biegsam. Das Flachklopfen des Drahtes geschieht mittelst eines guten, glatten Hammers auf einer ebenen, harten Unterlage, am besten auf einem kleinen Ambos, wie er sich an kleinen Schraubstöcken (siehe später) findet. Wenn man einen zusammengebogenen Ring gleichmäßig flachklopft, so öffnet er sich in der Regel etwas, um aber zu erzielen, daß der Ring c die Arme a fest zusammenpreßt, muß man den Hammer ein wenig schief halten, so daß man den äußeren Rand des Ringes dünner klopft, als den inneren, dadurch schließt sich der Ring gut zusammen.

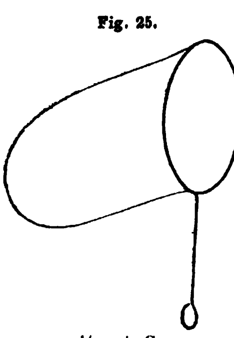
Durch einen Druck auf die Knöpfe oder Ringe d und e, die man zwischen Daumen und Zeigefinger faßt, öffnen sich die Arme a, man kann nun den Kautschuck-

schlauch hindurchschieben. Sobald man den Druck aufhebt, schließen sich die Arme des Quetschhahns und drücken den Kautschuckschlauch zusammen, so daß er dicht verschlossen wird.

Während die starren Körper eine deutliche Cohäsion, die gasigen eine ebenso merkbare Expansion besitzen, zeigt sich an tropfbaren Körpern bei oberflächlicher Betrachtung weder die eine, noch die andere dieser Eigenschaften. Beim Ausgießen zerreißt eine Flüssigkeit von selbst in einzelne Tropfen, wenn man in Wasser hineingreift, fühlt man keinen merkbaren Widerstand, bei genauerer Untersuchung zeigt sich aber, daß tropfbare Körper doch eine, wenn auch geringe Cohäsion besitzen. Hätten die Theilchen des Wassers gar keinen Zusammenhang, so müßte dasselbe beim Ausgießen nicht nur in Tropfen, sondern in Staub zerfallen. Legt man eine trockene, dünne Nähnadel wagrecht auf die ruhige Oberfläche des Wassers in einem Glase, so sinkt dieselbe nicht unter, weil ihr geringes Gewicht nicht ausreicht, um den Zusammenhang der Wassertheilchen an der Oberfläche zu durchbrechen. Daß dieses Liegenbleiben kein eigentliches Schwimmen ist, zeigt sich, wenn man die Nadel mit der Spitze eintaucht, sie sinkt unter, sobald man sie losläßt.

Am auffallendsten macht sich der Zusammenhang der tropfbaren Körper bemerkbar an den Häutchen, die man aus Flüssigkeiten herstellen kann. Solche Häutchen lassen sich von allen Flüssigkeiten bilden, am leichtesten aber aus Seifenwasser. Die Flüssigkeitshäutchen zeigen nicht nur eine verhältnißmäßig starke Cohäsion, sondern auch ein deutliches Bestreben, sich auf eine möglichst kleine Fläche zusammenzuziehen und es lassen sich mit ihnen vielerlei sehr hübsche Versuche anstellen. Besser als gewöhnliche Seife eignet sich zu diesen Versuchen eine sehr reine Baumölseife, die man unter dem Namen „venetianische Seife" oder „medicinische Seife" in der Apotheke kauft. Taucht man in ein flaches Gefäß (eine Untertasse) voll Seifenwasser einen mit einem Stiele versehenen Drahtring und zieht ihn wieder heraus, so erscheint in ihm ein sehr dünnes, ebenes Häutchen ausgespannt. Bläst man schwach auf dieses Häutchen, so wird es zu einer gekrümmten Fläche, ja wol gar zu einem förmlichen Sack ausgedehnt (Fig. 25), sobald man aber aufhört zu blasen, so zieht sich der Sack wieder zu einem ebenen Häutchen zusammen. Dreht man, während man noch bläst, den Stiel des Ringes zwischen den Fingern, so wird der Sack gewissermaßen abgeschnürt und löst sich von dem Ringe los, worauf er sich augenblicklich zu einer schönen, kugeligen Seifenblase rundet. Knüpft man an zwei Stellen a und b des Ringes (Fig. 26 A) einen ganz feinen Seidenfaden fest, wie man ihn von den Cocons der Seidenraupen abwickeln kann und stößt, nachdem man ein Häutchen gebildet hat, auf dem der Faden schwimmt, den Theil c mit dem Finger oder mit einem zusammengerollten Stückchen Fließpapier (Löschpapier) durch, so zieht sich wiederum der unzerstörte Theil des Häutchens möglichst zusammen, indem er den Faden zu einem schönen Kreisbogen ausspannt (Fig. 26 B). Man kann den Faden auch an nur einer Stelle, bei a befestigen, ihn bei b nur über den Rand des Ringes legen und das Ende mit der Hand halten; nachdem man von jemand anderem den einen Theil des Häutchens hat durchstoßen lassen, läßt

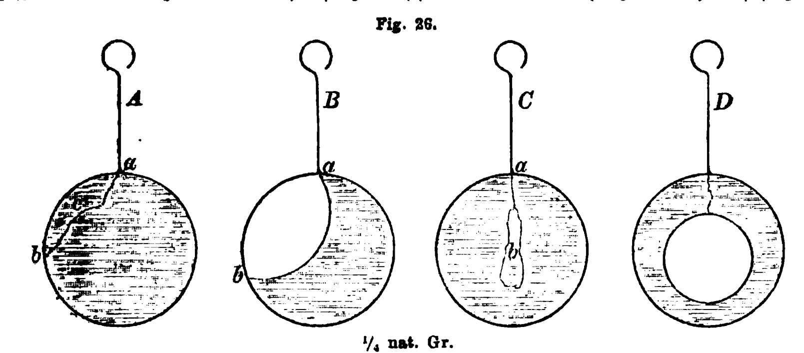
Fig. 25.



¼ nat. Gr.

sich durch Anziehen und Nachlassen des Fadens das Häutchen beliebig vergrößern und verkleinern, immer aber bleibt der Faden zu einem Kreisbogen gespannt. Ein zu einer Schleife geknüpfter und bei a (Fig. 26 C) befestigter

Fig. 26.

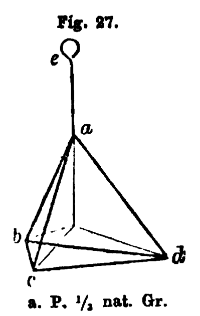


¼ nat. Gr.

Faden wird, wenn man das Häutchen mit einem Papierstreifchen bei b durchstößt, durch die Zusammenziehung des Häutchens zu einem Kreise erweitert (Fig. 26 D).

Aeußerst zierliche Figuren bilden sich, wenn man kleine Drahtgestelle in ein Trinkglas mit Seifenwasser eintaucht und wieder herauszieht. Ein dreieckiges Gestell (Fig. 27) aus 6 gleich langen Stäbchen a b, a c, a d, b c, c d und d e bestehend und mit einem Stiele a e versehen, zeigt nach dem Eintauchen sechs feine, nach dem Mittelpunkt der Figur zusammenlaufende Häutchen.

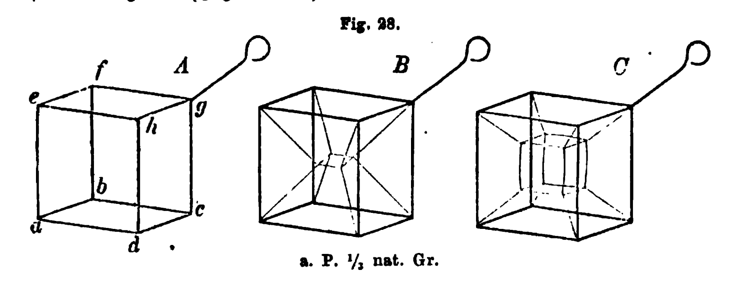
Fig. 27.



a. P. ⅓ nat. Gr.

In einem Gestell, welches die Kanten eines Würfels bildet (Fig. 28 A) und also aus 12 gleich langen Stäbchen besteht, bildet sich beim Eintauchen in der Mitte ein kleines Viereck, von dem 12 Flächen nach den Kanten des Würfels gehen (Fig. 28 B). Taucht man nun das Gestell nochmals ganz wenig in das Seifenwasser, so daß die vier unteren Kanten a b, b c, c d und d a zugleich die Oberfläche der Flüssigkeit berühren, so bildet sich eine kleine Blase, die beim Wiederherausheben eine würfelähnliche, aber von gewölbten Flächen begrenzte Gestalt annimmt, indem sie sich in die Mitte des Gestelles begiebt (Fig. 28 C).

Fig. 28.

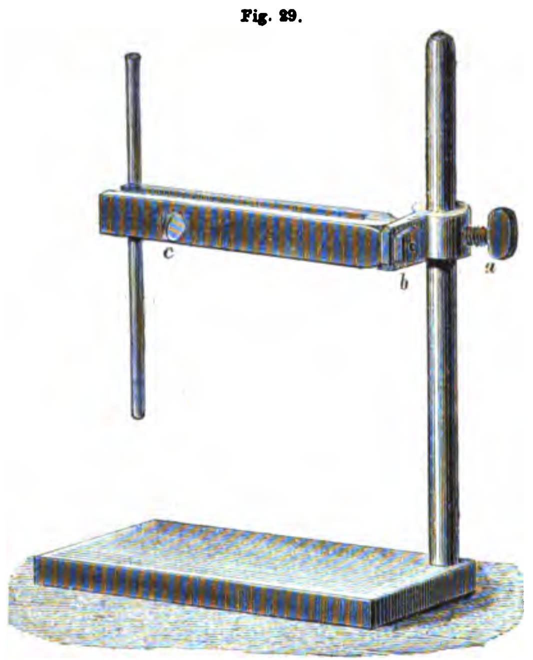


a. P. ⅓ nat. Gr.

Mancherlei Versuche, um den Zusammenhang der Flüssigkeit zu zeigen, lassen sich ferner anstellen mittelst zweier Drahtringe, von denen einer mit 3 Füßchen, der andere mit einem Stiele versehen ist.

Um den letzteren sicher in einer bestimmten Stellung befestigen zu können, bedient man sich eines besonderen Halters, der gewöhnlich Retortenhalter genannt wird. Ein rechteckiges Fußbret (Fig. 29) trägt einen senkrechten runden Stab, an welchem eine Hülse verschiebbar ist, die mittelst einer Schraube a in beliebiger Stellung festgeklemmt werden kann. Diese Hülse hat einen seitlichen Ansatz, in welchem sich der kurze, eine Schraube bildende Stiel einer hölzernen Gabel dreht, der mittelst der Schraubenmutter b ebenfalls festgezogen werden kann. Eine dritte Schraube c dient, die Enden der Gabel zusammenzuziehen, um etwas zwischen sie einzuspannen. Dieselben sind innen mit Kork belegt, um Glas oder ähnliche Dinge beim Einspannen nicht zu zerdrücken. Fig. 29 zeigt eine Glasröhre in senkrechter Stellung eingeklemmt; ebenso gut kann man einem eingeklemmten Gegenstande jede andere Lage geben.

Fig. 29.



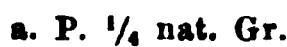
a. P. 1/5 nat. Gr.

Man befeuchtet beide Drahtringe mit Seifenwasser, bringt den einen senkrecht über dem andern an und bläst zwischen ihnen mittelst einer gewöhnlichen Thonpfeife eine Seifenblase auf, die sich, wenn man sorgsam verfährt, ohne zu zerspringen an beide Ringe anlegt, worauf man die Pfeife vorsichtig wegziehen kann, Fig. 30 A.



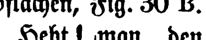
Fig. 30.





a. P. 1/4 nat. Gr.

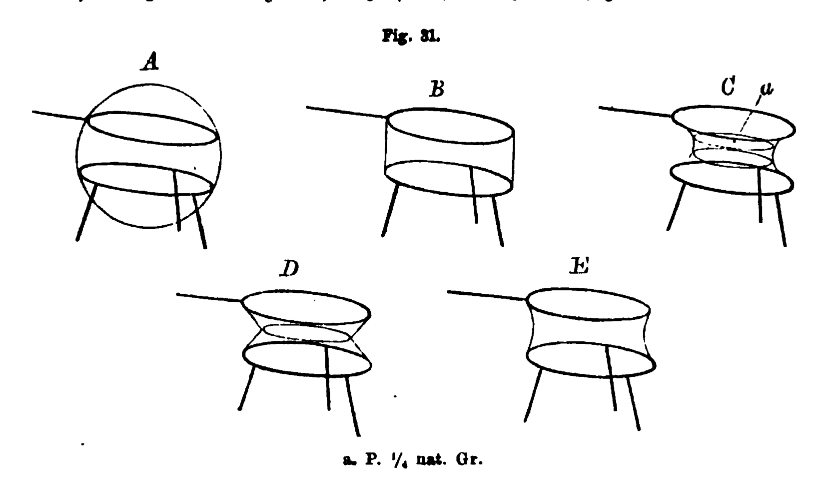
Hebt man den einen Ring etwas, indem man die Hülse des Retortenhalters, der den Ring trägt, an dem senkrechten Stabe hinaufschiebt, so läßt sich die ursprünglich kugelige Blase in die Länge ziehen und bildet schließlich einen schönen Cylinder mit kugeligen Endflächen, Fig. 30 B.



Hebt man den Ring noch mehr, so zieht sich die Blase in der Mitte ein bis sie zerreißt, wobei sie häufig 2 getrennte, kugelige Blasen bildet. Das Bestreben des Flüssigkeitshäutchens, sich zusammenzuziehen, zeigt sich recht deutlich, wenn man die Ringe ziemlich nahe aneinanderstellt, zwischen ihnen eine Seifen-

blase so weit aufbläst, daß sie sich an beide anlegt, dann Luft aus der Pfeife zurücksaugt und schließlich die Pfeife abzieht. Die Blase nimmt dabei nach einander die in Fig. 31 A, B und C dargestellten Formen an. Zerstört man nun das Häutchen a Fig. 31 C durch Berühren mit dem Finger, so nimmt der übrige Theil des Häutchens die Form Fig. 31 D und wenn man das noch übrige, ebene Häutchen zerstört, die Form Fig. 31 E an[5].

Fig. 31.



a. P. 1/4 nat. Gr.

Die dünnen Seifenwasserhäutchen zerreißen bald, weil die geringe Menge Wasser, die in ihnen enthalten ist, schnell verdunstet. Es läßt sich aber eine Flüssigkeit herstellen, welche sehr wenig verdunstet und deren Häutchen oft stundenlang halten, wenn sie sich in ruhiger Luft befinden. Man bringt 10 Gramm fein geschabte, medicinische Seife in 400^{cc} Wasser, setzt, nachdem die Seife vollkommen aufgelöst ist, 270^{cc} Glycerin (etwa 335 Gramm) hinzu und schüttelt das Ganze tüchtig um. Glycerin kommt im Handel in sehr verschiedenem Grade der Reinheit vor; das zur Herstellung dieser Flüssigkeit dienende soll farblos und fast syrupdick sein. Die Versuche, wenigstens die mit den Drahtringen, gelingen mit Glycerinflüssigkeit nicht immer gleich, man muß den Draht sorgfältig benetzen und darf die Mühe nicht scheuen, einen Versuch, der nicht sofort glücken will, zu wiederholen, durch die lange Dauer der zierlichen Gebilde wird man für die aufgewandte Mühe reichlich belohnt.

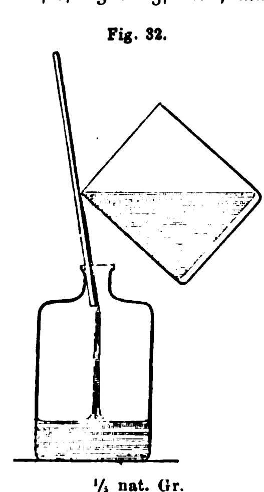
Falls man die Drahtgestelle beim Nadler (Spengler) anfertigen läßt, so lasse man dieselben aus Eisendraht machen, an dem die Flüssigkeit gut haftet, besonders nachdem er etwas rostig geworden ist. Man kann dieselben aber recht gut selbst aus Messingdraht herstellen, der zwar nicht ganz so zweckmäßig, als Eisendraht, für den Ungeübten aber leichter zu löthen ist. Zum Löthen benutzt man sogenanntes Schnellloth, das man herstellt, indem man 3 Gewichtstheile Zinn und 2 Gewichtstheile Blei in einem Schmelzlöffel (einem runden Löffel aus schwarzem Eisenblech mit hölzernem Griff) schmilzt, das Gemenge mit einem Holzspahn umrührt und dann auf eine wagrechte Unterlage (ein altes Brett, eine Steinplatte oder dgl.) ausgießt, damit es ein dünnes Stück bildet, von dem man mittelst eines starken Messers oder einer Kneipzange kleine Stücken abtrennen kann. Noch besser ist es, das flüssige Loth aus einer Höhe von etwa 1^{m} in einem dünnen Strahle in ein Fäßchen oder einen hölzernen Eimer mit Wasser zu gießen, das jemand mittelst eines Stabes oder eines Ruthen-

[5] Die Erklärung der lebhaften Farben, in denen diese Häutchen glänzen, überschreitet die Grenzen dieses Buches.

besens umrührt, man erhält auf diese Weise unregelmäßige Körner und erspart das nachherige Zertheilen.

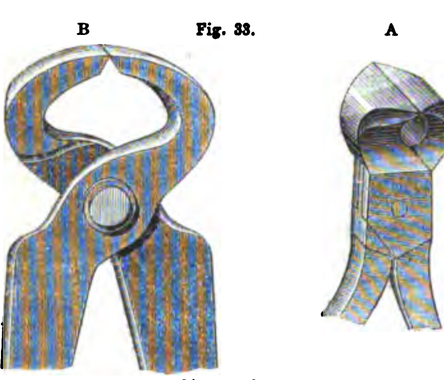
Ein behufs des Löthens erhitztes Metallstück nimmt das Loth nicht an (das Loth fließt darauf nicht breit), wenn man nicht die zu löthende Stelle mit einem besonderen Löthmittel behandelt. Für den vorliegenden Zweck dient am besten das sogenannte Löthwasser. In ein Glas, das etwa 250^{cc} Wasser (ein halbes Pfund) faßt, bringe man 50 Gramm käufliche rohe Salzsäure und füge nach und nach Abschnitzel von Zinkblech, die man bei jedem Klempner erhält, hinzu. Anfangs werden die Zinkstückchen schnell und unter heftigem Aufbrausen gelöst, allmählig geht die Auflösung langsamer; man bringt solange neues Zink hinzu, bis schließlich auch nach einigen Stunden einige Stücken ungelöst übrig bleiben. Dann setzt man 10 Gramm Salmiak hinzu, der in festen Stücken, aber auch gepulvert im Handel vorkommt, man kauft ihn am besten gleich gepulvert. Unter Umrühren mit einem Hölzchen löst sich der Salmiak schnell auf, man läßt dann die Flüssigkeit einige Zeit ruhig stehen und gießt schließlich das Klare von dem Bodensatze ab in ein Fläschchen. Um aus einem Glase eine Flüssigkeit ausgießen zu können, ohne daß dieselbe am Rande herunter läuft, muß man den äußeren Rand mit etwas Talg bestreichen und ein Stäbchen von Glas oder auch von Holz an die Stelle halten, wo man ausgießt, die Flüssigkeit läuft alsdann an dem Stäbchen herunter, Fig. 32. Um sich das Umgießen zu erleichtern, kann man auch die Auflösung gleich in einer größeren Flasche vornehmen, nur muß man dann die Zinkblechschnitzel in schmale Streifen schneiden, um sie durch den Hals einbringen zu können. Man hüte sich, mit einem brennenden Lichte an das Gefäß zu kommen, so lange die Flüssigkeit braust, die Luftart, welche sich dabei entwickelt, ist brennbar und kann sich mit heftigem Knalle und unter Zertrümmerung der Flasche entzünden; in einem offenen Trinkglase ist eine etwaige Entzündung gefahrlos. Das Löthwasser bringe man nicht an den Mund, es ist einigermaßen giftig, schmeckt übrigens so abscheulich und beißend, das schwerlich jemand die geringste Menge davon verschlucken wird. Das Löthwasser sowol, als die Salzsäure bringen auf gefärbten Stoffen Flecken hervor (häufig roth aussehende), man hüte also auch seine Kleider. Sind solche Flecken doch entstanden, so betupfe man sie mit einer Auflösung von etwas kohlensaurem Ammoniak (sog. Hirschhornsalz) in Wasser.

Fig. 32.



$^1/_4$ nat. Gr.

Fig. 33.



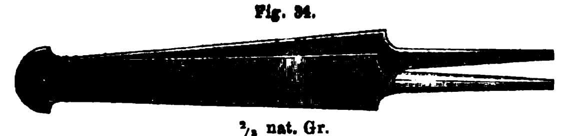
$^1/_3$ nat. Gr.

Den Draht zu den Gestellen nimmt man etwa 1,^{mm}5 stark. Um Stücke davon in passender Länge abzuschneiden, bedient man sich am besten einer guten, scharfen Beißzange, wie eine solche in Fig. 33 A dargestellt ist. Eine solche Zange darf aber nur zum Abschneiden von Draht benutzt werden, wenn sie nicht verderben soll, zum Ausziehen von Nägeln, zum Zerbrechen von Gegenständen u. s. f. dient eine gewöhnliche Zange, Fig. 33 B.

Zu Herstellung der Ringe, Fig. 26, kneipt man ein 30 bis 32^{cm} langes Stück Draht ab, macht mit der runden Drahtzange die kleine Oese an einem Ende und

biegt dann bei a den Draht rechtwinkelig ein; den Ring biegt man dann mittelst der Finger und der Flachzange so zurecht, daß das andere Ende des Drahtes nach a kommt. Dieses Ende sowohl, als die umgebogene Stelle a befeuchtet man mittelst eines kleinen Haarpinsels oder einer Gänsefeder, deren Bart man bis auf ein kleines Stück weggeschnitten hat, mit ein wenig Löthwasser, hält die Stelle a in die Flamme einer Weingeistlampe oder eines Bunsen'schen Gasbrenners und bringt ein höchstens linsengroßes Stückchen Loth darauf. Das Aufbringen des Lothes kann mittelst einer Greifzange (Pincette), Fig. 34, geschehen, oder auch mittelst eines Drahtes, an dessen Ende man das Körnchen Loth anschmilzt, indem man den mit Löthwasser benetzten Draht in der Flamme stark erhitzt und damit das Loth berührt, bis es angeschmolzen ist. Sobald das Loth an der umgebogenen Stelle a haftet, drückt man das anzulöthende Drahtende an diese Stelle fest und wenn das Loth auch an dieses Ende sich ordentlich angelegt hat, nimmt man den Ring aus der Flamme und läßt ihn abkühlen, indem man sorglich darauf achtet, daß die gelötheten Theile in der richtigen Lage gehalten werden, bis das Loth erstarrt ist. Schließlich befreit man die gelöthete Stelle durch Waschen mit Wasser von den Resten des Löthwassers. Da sich der ganze Draht allmählig erhitzt, wenn eine Stelle desselben in die Flamme gehalten wird, so hält man beim Löthen den geraden Theil des Drathes mittelst einer Flachzange, die man in der linken Hand hat, damit die rechte frei bleibt zum Aufbringen des Lothes und zum Festdrücken des anzulöthenden Endes, das man mit der Pincette faßt.

Fig. 34.



$^2/_3$ nat. Gr.

Das Gestell Fig. 27 wird folgendermaßen verfertigt: Man richtet ein etwa 36^{cm} langes Stück Draht mit den Fingern und der Flachzange erst etwas gerade und theilt seine Länge mittelst des Zirkels oder bequemer mittelst eines Maßstabes in 6 gleiche Theile, die Theilungspunkte kann man auf dem Drahte durch ganz schwaches Einritzen mit einer dreikantigen Feile bezeichnen; ritzt man den Draht tief ein, so bricht er, wenn man nachher die Stelle biegt. Das erste Sechstel des Drahtes bildet den Stiehl a e, bei a biegt man also den Draht etwas, der zweite Theilpunkt kommt nach b, der dritte nach c, der vierte wieder nach a, so daß a b c ein gleichseitiges Dreieck wird; dann biegt man bei a wieder abwärts, so daß der fünfte Theilpunkt nach d, das Ende des Drahtes nach b kommt. Man richtet nun das Ganze soweit zurecht, daß die Entfernung von c nach d ohngefähr gleich einer der anderen Seiten (a b, b c u. s. f.) wird, löthet zuerst bei a, dann bei b den Draht zusammen, endlich löthet man ein einzelnes Drahtstäbchen von passender Länge zwischen c und d fest.

Für das würfelförmige Gestell (Fig. 28 A) wird ein 60^{cm} langes Drahtstück in 10 gleiche Theile getheilt, von denen der erste den Stiehl giebt, der zweite bis fünfte Theil geben die Seiten g h, h e, e f, f g, der sechste Theil die Seite g c und die vier übrigen das Quadrat c d a b, so daß das Ende des Drahtes nach c kommt. Man löthet nun zuerst bei g, dann bei c und setzt schließlich drei einzelne, je 6^{cm} lange Stücke Draht als die Seiten h d, e a und f b ein.

Um den Ring mit 3 Füßen (Fig. 30) herzustellen, verfährt man zunächst wie bei Anfertigung des anderen Ringes, nur daß man das hervorragende Drahtende etwas kürzer macht und dann umbiegt, um den einen Fuß zu bilden, die beiden anderen Füße werden einzeln angesetzt.

Auf Eisendraht haftet das Loth weniger leicht als auf Messingdraht; wenn man aber ganz blanken Draht anwendet (schwarzen oder rostigen putzt man durch Abreiben mit Smirgelpapier), so gelingt es mit einiger Geduld auch, die Gestelle aus Eisendraht zu verfertigen.

5. Porosität. Bei vielen Körpern, z. B. bei dem gewöhnlichen Schwamm, dem Bimssteine, Brod u. s. w., sieht man bei der Betrachtung mit bloßem Auge, daß die Raumerfüllung keine vollständige ist, zwischen den einzelnen

Theilchen des Stoffes, aus dem diese Körper bestehen, sind eine Menge größerer oder kleinerer, leerer Räume, welche *Poren* heißen. Die Eigenschaft eines Körpers, solche Poren zu haben, heißt *Porosität*. Bei anderen Körpern, so bei Holz, Kork, Papier, Sandstein u. s. w. sind diese Poren kleiner, so daß sie weniger leicht, theilweise nur mit Hülfe von Vergrößerungsgläsern, gesehen werden können. Wieder andere Körper, beispielsweise die meisten Steine, zeigen auch unter dem Vergrößerungsglase keine Poren, doch sind auch hier solche vorhanden, nur sind sie außerordentlich fein. Viele von den in Idar und Oberstein (in der Pfalz) zu Schmucksachen verarbeiteten Steinen werden künstlich gefärbt, was natürlich nur dadurch möglich ist, daß sie porös sind, weil sonst kein färbender Stoff in sie eindringen könnte. Bei Anwendung von großer Gewalt gelingt es, selbst in dichte Metalle hinein und durch sie hindurch Flüssigkeiten zu pressen.

Am wenigsten ist das Vorhandensein von Poren zu vermuthen bei den tropfbaren Flüssigkeiten, aber auch hier lassen sie sich nachweisen. Eine kleine Flasche mit eingeschliffenem Glasstöpsel, die etwa 100 bis 200^{cc} faßt, füllt man zur Hälfte mit Wasser, zur anderen Hälfte mit Weingeist, den man ganz langsam an der Wand des Fläschchens herunterfließen läßt, damit er sich nicht mit dem schwereren Wasser mischt. Bei einiger Vorsicht bleiben die Flüssigkeiten fast vollkommen getrennt, wie man leicht erkennt, wenn man das Auge in gleiche Höhe mit der Mitte des Fläschchens bringt. Den Weingeist füllt man bis soweit in den Hals des Fläschchens, daß beim Einsetzen des Stöpsels einige Tropfen überfließen und keine Luftblase im Innern zurückbleibt. Ohne das Fläschchen von dem Tische, auf dem es während des Füllens stand[6], aufzuheben, entfernt man den übergeflossenen Weingeist durch Abwischen mit einem Tuche, um nachher sich überzeugen zu können, daß nichts mehr ausgeflossen ist. Nun hebt man das Fläschchen vom Tische auf, indem man es zwischen den Daumen und die drei letzten Finger der Hand nimmt und mit dem Zeigefinger auf den Stöpsel drückt, um ihn fest zu halten. Durch mehrmaliges Umkehren des Fläschchens mengt man die beiden Flüssigkeiten gut durcheinander. Dabei bilden sich eine Menge feiner Bläschen, die sich schließlich zu einer größeren Blase vereinigen. Diese Blase ist luftleer, wenn der Stöpsel ganz luftdicht schließt, bei mangelhaftem Schlusse, wie er häufig stattfindet, ist die Blase mit eingedrungener Luft gefüllt, in jedem Falle aber nehmen die vermischten Flüssigkeiten einen kleineren Raum ein, als vor ihrer Vermischung, sie müssen sich also gewissermaßen ineinander hineingedrängt haben, und das kann natürlich nur geschehen, wenn in ihnen leere Räume vorhanden waren.

Aehnlich verhalten sich beim Vermischen viele andere Flüssigkeiten.

Will man auf einige Entfernung hin sichtbar machen, daß die Flüssigkeiten beim vorsichtigen Füllen der Flasche sich fast nicht vermischen, so kann man eine von beiden färben, am besten das Wasser. Gefärbtes Wasser ist bei vielen Versuchen anzuwenden; um Wasser zu färben, kann man eine Auflösung von dem vielgebrauchten *Anilinroth (Fuchsin)* in Weingeist benutzen. Von dem im festen Zustande goldgrünen Fuchsin wird 1 Gramm mit 50^{cc} Weingeist (40 Gramm) übergossen und unter öfterem Umschütteln einige Stunden stehen gelassen. Mit 1^{cc} dieser Lösung kann man zwei Liter Wasser roth färben.

---

[6] Falls der Tisch polirt oder lackirt ist, setze man einen Teller unter, weil Weingeist Politur und Lack verdirbt.

Bringt man in ein Glaskölbchen (von der Größe des in Fig. 21 abgebildeten) einige Körnchen Jod[7], verstöpselt dann das Kölbchen mit einem guten Kork und erwärmt es ganz gelinde, so füllt sich das Glas mit schönen violetten Dämpfen, weil sich das Jod verflüchtigt. Daß diese Joddämpfe sich ganz ungehindert in dem Gefäße ausbreiten, obgleich dieses mit Luft gefüllt ist, beweist am besten, daß die Luft in hohem Grade porös sein muß. Aber auch ohne diesen Versuch kann man auf die Porosität gasiger Körper schon aus dem Umstande schließen, daß sie sich zusammenpressen lassen (s. §. 3). Man kann sich unmöglich vorstellen, daß der eigentliche Stoff, aus dem ein Körper besteht, sein Volumen wirklich ändert; wenn ein Körper zusammengepreßt wird, so müssen es immer die in ihm enthaltenen Poren sein, welche kleiner werden, nicht die stofflichen Theilchen. Durch hinlänglich starken Druck lassen sich aber nicht nur die Gase, sondern auch alle starren und tropfbaren Körper zusammen drücken, wenn schon nicht so stark als jene, man muß deshalb annehmen, daß alle Körper ohne Ausnahme Poren haben. (Noch leichter, als durch Druck lassen sich die Körper durch Abkühlung auf ein kleineres Volumen bringen, davon wird später, in dem Abschnitt über die Wärme, ausführlicher die Rede sein.)

6. Theilbarkeit. Durch geeignete Mittel (Zerschneiden, Zerstoßen u. s. w.) können wir alle Körper in kleine und immer kleinere Theile zerlegen. Solche Körper, welche sich in Flüssigkeiten auflösen, kann man durch Verdünnen ihrer Auflösungen ganz besonders gut zertheilen. Mit einem Cubiccentimeter der oben erwähnten Fuchsinlösung, welches $0,^{grm}02$ Farbstoff enthält, kann man 2 Liter Wasser schön roth färben, ein Cubiccentimeter des so gefärbten Wassers enthält also, da ein Liter tausend Cubiccentimeter hat, den zweitausenden Theil von $0,^{grm}02$, d. i. ein Hunderttausendtheil Gramm Fuchsin und man braucht lange nicht ein Cubiccentimeter, um die rothe Farbe noch zu erkennen. Taucht man ein 10^{mm} langes Stückchen eines etwa 1^{mm} weiten Glasröhrchens mit einem Ende in das gefärbte Wasser, so saugt es sich davon voll und wenn man dieses Röhrchen so gegen das Licht hält, daß man der Länge nach hindurchsieht, so erscheint die Flüssigkeit sehr deutlich roth. Ein Cylinder von 1^{mm} Durchmesser oder $0,^{mm}5$ Halbmesser und 10^{mm} Höhe hat aber einen Inhalt von $0,5 \cdot 0,5 \cdot 3,1416 \cdot 10 = 7,854$ Cubicmillimeter. Die in dem Röhrchen enthaltene Flüssigkeitsmenge ist somit von einem Cubiccentimeter (= 1000 Cubicmillimetern) noch nicht ganz der 127te Theil $\left(\frac{1000}{7,854} = 127,32366\right)$ und da ein Cubiccentimeter der Lösung 0,00001 Gramm Farbstoff enthält, so enthält die Flüssigkeit in dem Röhrchen weniger als den zwölfmillionsten Theil eines Grammes. Ein Quadratcentimeter des feinsten Goldblatts (vgl. §. 1) wiegt ohngefähr $^1/_{5000}$ Gramm und noch mit bloßem Auge kann man leicht ein Stückchen eines solchen Goldblattes wahrnehmen, das viel kleiner ist als ein Quadratmillimeter, also viel weniger als den 500 000ten Theil eines Grammes Gold. Mit geeigneten Mitteln lassen sich noch viel kleinere Theile von Körpern sichtbar machen, als die eben erwähnten, jedenfalls aber reichen unsere Mittel noch lange nicht weit genug, um die Körper in die kleinsten Theile zu zerlegen, aus denen sie überhaupt bestehen. Diese kleinsten Theile

---

[7] Das Jod ist sehr giftig, es bildet kleine, schwarze, glänzende Blättchen; auf der Haut, auf Papier u. s. w. macht es braune Flecken.

nennt man **Atome** oder **Moleküle**, die Kräfte, welche diese Theilchen zusammenzuhalten oder voneinander zu entfernen suchen, die Cohäsion und Expansion (vgl. §. 4) werden daher auch **Molekularkräfte** genannt.

Um ein Stückchen hinlänglich enges Glasrohr für diesen Versuch zu erhalten, zieht man ein Stückchen eines weiteren Rohres in der Lampe aus. Man erwärmt den mittleren Theil eines 12 bis 15^{cm} langen, 5 bis 7^{mm} dicken Glasrohres in der Weingeist- oder Gaslampe so weit, daß es ganz weich wird, entfernt es dann schnell aus der Flamme und zieht es mit beiden Händen in die Länge, bis der mittlere Theil die gewünschte Enge hat. Nach dem Erkalten ritzt man an zwei Stellen mit der dreikantigen Feile und bricht das dazwischen befindliche Stück heraus. Während des Erwärmens muß man das Glasrohr fortwährend drehen, indem man es mit jedem Ende zwischen den Fingerspitzen einer Hand hält, weil es nur so gleichmäßig genug erwärmt wird, um sich gut ausziehen zu lassen. Mit weniger Uebung kommt man leicht dahin, das Ausziehen zu jeder beliebigen Dünne zu Stande zu bringen.

7. Schwere; absolutes und specifisches Gewicht. Wollen wir einen Stein von der Erde, ein Buch von einem Tische aufheben, so brauchen wir dazu eine gewisse Kraft, die bald größer, bald kleiner sein muß, je nach der Masse des zu hebenden Körpers. Lassen wir den gehobenen Gegenstand los, so fällt er schleunigst nach der Erde nieder und zwar fällt er so tief oder so lange, bis er durch irgend etwas verhindert wird, weiter zu gehen, also bis er wieder auf dem Boden, auf dem Tische oder auf sonst einer Unterlage aufliegt. Da sich ein Körper nur sozusagen widerwillig von der Erde entfernen läßt und, sich selbst überlassen, sofort sich nach der Erde zu bewegt, so muß etwas da sein, das ihn nach der Erde hinzieht. Dieses Etwas, die Anziehung der Erde gegen die Körper, nennen wir die **Schwerkraft**, die Eigenschaft eines Körpers, der Wirkung dieser Kraft unterworfen zu sein, seine **Schwere**. Die Richtung, in welcher die Schwerkraft wirkt, d. i. die Richtung nach dem Mittelpunkte der Erde, heißt **senkrecht (vertikal)**, jede Linie, die mit der Senkrechten einen rechten Winkel bildet, heißt **wagrecht (horizontal)**.

Je größer die Masse eines Körpers ist, d. h., aus je mehr stofflichen Theilchen ein Körper besteht, um so stärker wird er von der Erde angezogen, um so mehr brauchen wir Kraft, ihn zu heben, mit um so größerer Gewalt fällt er, sich selbst überlassen, wieder zurück, um so stärker drückt er, wenn er in Ruhe ist, auf seine Unterlage. Die Stärke der Anziehung, welche ein Körper von der Erde auszuhalten hat, die Größe des Drucks, den er im ruhenden Zustande auf seine Unterlage ausübt, nennen wir kurzweg das **Gewicht**, genauer das **absolute Gewicht** des Körpers. Von der eigentlichen Wirkungsweise der Wage, die wir zur Ermittelung des Gewichtes der Körper benutzen, kann erst später die Rede sein, Gewichte aber brauchen wir so oft, daß wir dieselben schon jetzt betrachten müssen. Bei physikalischen Arbeiten bedient man sich ausschließlich des Grammgewichtes, weil dieses für viele Rechnungen eine große Bequemlichkeit bietet. Ein **Gramm** (abgekürzt 1^{gr}) ist nämlich das Gewicht eines Cubiccentimeters Wasser[8]. Ein Gewicht von 1000^{gr}, also das Gewicht von 1000^{cc} oder ein Liter Wasser heißt ein **Kilogramm** (1^{kgr}). Das Zollpfund ist genau $^1/_2$ Kilogramm oder 500^{gr}. Die Unterabtheilungen des Gramm haben noch besondere Namen, das Zehntelgramm heißt **Decigramm**, das Hundertel-

[8] In Bezug auf die Temperatur siehe weiter unten in der Wärmelehre den Abschnitt von der Ausdehnung des Wassers.

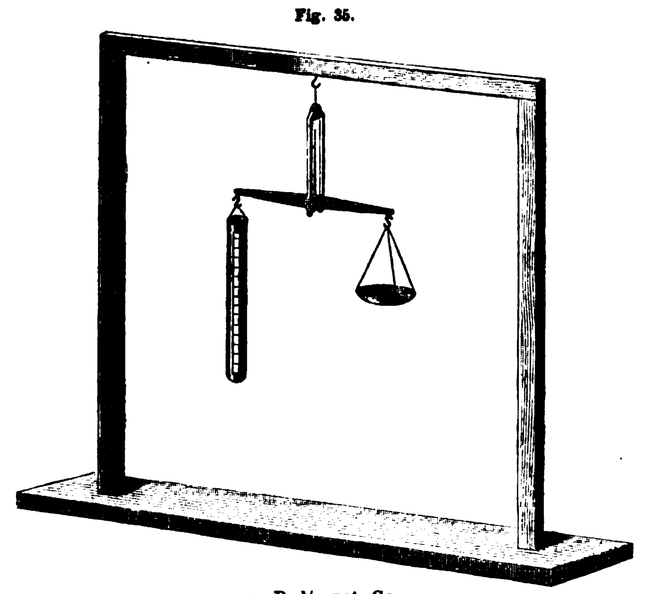
gramm **Centigramm**, das Tausendstelgramm **Milligramm**. Ein Milligramm ist das Gewicht von 1 Cubicmillimeter Wasser.

Für unsere Zwecke braucht man wenigstens eine Wage, die eine Belastung von 1 Kilogramm verträgt und bei kleiner Belastung noch ein Zehntelgramm angiebt. Eine solche Wage von gewöhnlicher Form kostet etwa 3 bis 4 Thaler. Die Tafelwagen, wie man sie bei den meisten Kaufleuten trifft, sind für den Gebrauch in vieler Beziehung recht bequem; doch ist ihre Empfindlichkeit meist etwas kleiner, als die anderer Wagen. Gewichte muß man von 0,^{gr}1 bis 1^{kgr} haben. Auf jeden Fall wird man einen kleinen Satz Messinggewichte mit folgenden Stücken kaufen:

20^{gr}; 20^{gr}; 10^{gr}; 5^{gr}; 2^{gr}; 2^{gr}; 1^{gr}; 0,^{gr}5; 0,^{gr}2; 0,^{gr}2; 0,^{gr}1;

Gewichte von 500, 200, 200, 100 und 50 Gramm werden entweder gekauft oder aus Blei selbst gemacht. Will man das letztere thun, so läßt man sich vom Drechsler ein walzenförmiges Holzstück von 3^{cm} Dicke und 5^{cm} Höhe drehen oder schnitzt sich ein solches allenfalls mit dem Messer. Um dieses Holzstück herum wird ein 6 bis 12^{cm} breiter, 40 bis 50^{cm} langer Streifen von starkem Packpapier gewickelt und mit Bindfaden festgebunden, so daß er auf einer Seite über das Holz vorsteht. Man erhält solchergestalt eine papierne Form mit hölzernem Boden, in die man die nöthige Bleimenge hineingießt. Von dem Blei muß man jedesmal etwas mehr nehmen, als das Gewicht schwer werden soll, weil beim Schmelzen immer etwas verloren geht. Das Schmelzen geschieht in einem geräumigen Löffel von Schwarzblech mit hölzernem Griff in einem gewöhnlichen Ofenfeuer. Sobald das Metall geschmolzen ist, schiebt man mit einem Spähnchen die auf der Oberfläche befindliche Haut von Bleiasche bei Seite, damit nichts davon in die Gießform gelangt. Wenn das zum Boden der Form dienende Holzstück nicht recht trocken ist, so entwickeln sich beim Eingießen des Bleis leicht Dampfblasen, die den Guß undicht machen, deshalb empfiehlt es sich, das Holzstück vor dem Gebrauch auf dem Ofen so stark zu trocknen, als es geschehen kann, ohne daß es anfängt zu verkohlen. Der Papierrand muß für jedes zu gießende Stück erneuert werden. Durch vorsichtiges Abschneiden und schließlich Abschaben giebt man den gegossenen Stücken genau das richtige Gewicht. Hat man keine anderen Gewichte, als den zuerst erwähnten kleinen Satz, so fertigt man zuerst ein 50 Grammstück, indem man 20 + 20 + 10 + 5 + 2 + 2 + 1 = 60^{gr} in die eine Waagschaale bringt, um 60^{gr} Blei abzuwägen; das gegossene Bleistück wird dann auf 50^{gr} (20 + 20 + 10) abgeglichen, mit Hülfe des neuen 50^{gr}-Stücks und der übrigen Gewichte stellt man das 100^{gr}-Stück her u. s. f. Die auf die angegebene Weise erhaltenen Gewichte haben alle die gleiche Dicke von 3^{cm} und unterscheiden sich hinlänglich durch ihre verschiedene Höhe, so daß man keine

Fig. 35.



a. P. 1/10 nat. Gr.

besondere Bezeichnung an ihnen anzubringen braucht. Das 500^{gr}-Stück wird ohngefähr 7^{cm}, das 50^{gr}-Stück etwa $^2/_3{}^{cm}$ hoch. Das Blei kauft man in der Regel in ziemlich großen Stücken, man körnt es, um bequem davon abwägen zu können, indem man es schmilzt und, wie beim Schnellloth angegeben, in Wasser gießt.

Sobald man im Besitz einer Wage und der nöthigen Gewichte ist, wird man daran gehen, sich eine Anzahl von Hohlmaßen zu machen, die man vielfach braucht. Dieselben werden durchgehends durch Auswägen mit Wasser hergestellt. Um dieses Auswägen bequem vornehmen zu können, braucht man eine Spritzflasche und ein Gestell, das zum Aufhängen der Wage in einiger Höhe dient. Dieses Gestell, Fig. 35, das bei vielen Versuchen gebraucht wird, läßt man am besten beim Tischler machen; das Brett soll wenigstens 80^{cm} lang, 20^{cm} breit, das Gestell 60^{cm} hoch und weit sein, die Stäbe zu letzterem 2^{cm} ins Geviert. Will und kann man das Ganze etwas größer machen lassen, so ist es um so besser; die Stäbe müssen jedenfalls von hartem Holz sein. In den oberen Querstab schraubt man nach Bedürfniß verschiedene kleine Haken ein, wie man sie von Eisen oder hübscher von Messing in jedem Kurzwaarenladen bekommt. Behufs des Einschraubens bohrt man ein Loch vor mit einem Nagelbohrer, der beträchtlich dünner ist als die einzudrehende Schraube, diese selbst bestreicht man zweckmäßig mit etwas Talg.

Eine Spritzflasche dient, um durch Blasen mit dem Munde einen feinen Wasserstrahl hervorzubringen. Man nimmt dazu eine weithalsige Flasche, welche 1 bis 2 Pfd. Wasser faßt; will man die Spritzflasche zugleich zum Erwärmen des Wassers benutzen und ihr eine gefällige Form geben, so benutzt man einen Glaskolben (Kochflasche), wie Fig. 36. Ein gutschließender Kork wird doppelt durchbohrt, in die eine Bohrung kommt eine stumpfwinkelig gebogene Glasröhre a, in die zweite eine spitzwinkelig gebogene Röhre b, welche fast bis auf den Boden der Flasche reicht. Das äußere Ende dieser Röhre wird zu einer feinen Spitze ausgezogen, die nur etwa $0,^{mm}5$ Oeffnung hat. Um beim Ausziehen diese Spitze nicht zu dünnwandig zu machen, läßt man das Rohr vor dem Ausziehen recht heiß werden und zieht es nur ohngefähr so lang, wie Fig. 37, ritzt dann die dünnste Stelle mit der Feile und bricht ab. Das Biegen der Glasröhren geschieht sehr leicht, nachdem sie in der Weingeistflamme gehörig erwärmt sind; auch hier hat man durch fortdauerndes Drehen dafür zu sorgen, daß sie gleichmäßig erwärmt werden. Das Ausziehen muß vor dem Biegen geschehen, weil man das winkelig gebogene Rohr nicht bequem drehen kann.

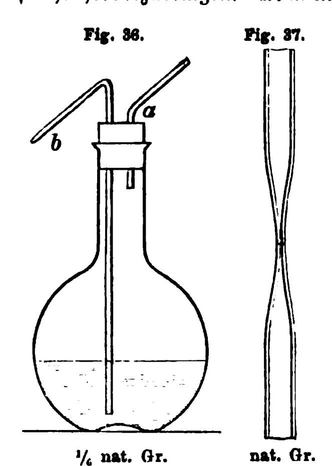


Fig. 36. $^1/_4$ nat. Gr. Fig. 37. nat. Gr.

Sobald die Flasche mit Wasser gefüllt ist, braucht man nur mit dem Munde in das Rohr a zu blasen, um bei b den gewünschten Strahl zu erhalten.

Zu kleinen Meßgefäßen kann man sogenannte **Probirgläser** nehmen, dies sind cylindrische, an einem Ende halbkugelig verschlossene, am andern Ende mit einem ausgebogenen Rande versehene Gläschen. Eines von etwa 12^{mm} Weite und 12^{cm} Länge wird bis zu einem Volumen von 10^{cc} in ganze und halbe Cubiccentimeter, ein größeres von etwa 20 bis 25^{mm} Weite und 20^{cm} Länge bis zu einem Volumen von 50^{cc} in ganze Cubiccentimeter getheilt.

Auf ein solches Gläschen klebt man mit Leim oder noch besser mit ein wenig Hausenblase, die in kochendem Wasser aufgelöst wird, der Länge nach einen 1^{cm} breiten Streifen von Schreibpapier. Nachdem derselbe trocken geworden, bindet man unter dem Rande des Gläschens einen doppelten Faden herum, um das Gläschen damit an die eine Seite der Wage zu hängen, von der man zuvor die eine Schale entfernt hat (siehe Fig. 35). In die andere Schale schüttet man dann so lange feines Bleischrot oder Sand, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Wenn die Wagschale

nicht sehr leicht ist, wird sie schon an sich das Uebergewicht haben, in diesem Falle hängt man ein Stückchen Blei oder einen Stein mittelst eines Fadens auf die Seite, wo sich das Gläschen befindet, um diese Seite zunächst schwerer zu machen und gleicht nun erst das Ganze mit Schrot oder Sand aus. Dann legt man nach und nach in die rechte Schale Gewichte und spritzt jedesmal mittelst der Spritzflasche soviel Wasser in das Gläschen, daß Gleichgewicht eintritt. Den Stand des Wassers im Gläschen bemerkt man sich durch einen Bleistiftstrich auf dem Papierstreifen. Beim Auswägen des kleinen Gläschens wird man erst ein, dann zwei, dann drei Gramm Wasser abwägen u. s. f. bis 10 Gramm, bei dem größeren Gläschen nimmt man zuerst 5, dann 10, dann 15 Gramm u. s. f. bis 50.

Das Wasser bildet in einem Glase keine ebene, sondern eine hohle (concave) Oberfläche (Meniscus). Um bei den Messungen keinen Fehler zu begehen, muß man immer eine bestimmte Grenzlinie dieses Meniscus zum Ablesen wählen und zwar am einfachsten die untere a, weil diese am schärfsten ist. Ferner ist nöthig, daß man das Gläschen senkrecht hält, sowohl wenn man nach den eingewogenen Wassermengen die Striche auf dem Papierstreifen anbringt, als wenn man später irgend eine Flüssigkeit nach diesen Strichen abmißt. Nach geschehenem Auswägen

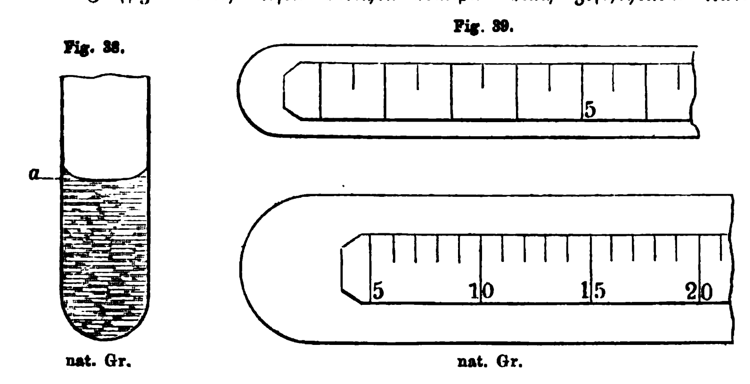


Fig. 38. nat. Gr.

Fig. 39. nat. Gr.

theilt man die erhaltenen Abstände noch mit dem Zirkel in kleinere Theile, zieht die einzelnen Theilstriche mit Tusche nach, bestreicht nach dem Trocknen den Papierstreifen mit dünner Auflösung von arabischem Gummi und nachdem auch diese trocken geworden ist, mit Damarlack. Dieses Lackiren hat den Zweck, den Papierstreifen vor Feuchtigkeit zu schützen und das vorhergehende Gummiren soll verhindern, daß der Lack das Papier durchdringt und dabei die Theilung unansehnlich macht. Das unterste Cubiccentimeter an dem kleinen und die untersten 5^{cc} bei dem größeren Gläschen lassen sich nicht in kleinere Theile theilen wegen der Wölbung des Glasendes; die Einrichtung der ganzen Theilung ist aus Fig. 39 zu entnehmen.

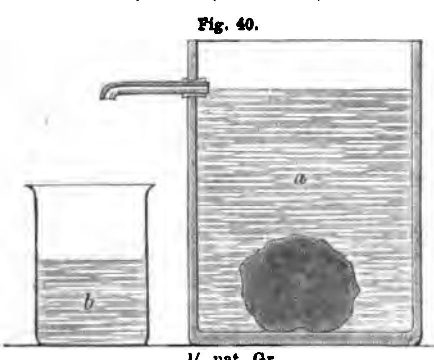
Schöner und dauerhafter, als auf Papier gezeichnete, sind Theilungen, die auf das Glas geätzt sind. Glasröhren mit solchen Theilungen sind verhältnißmäßig billig zu kaufen. Größere Meßgefäße, wie man sie etwa bei der Bereitung verdünnter Schwefelsäure anwendet, brauchen nicht sehr genau zu sein. Man kann sie herstellen, wenn man in einer etwas dickwandigen Glasflasche nach und nach 50, 100, 150 u. s. f. bis 500^{gr} Wasser abwägt und jedesmal den Stand des Wassers durch einen Strich mit einer dreikantigen Feile anmerkt.

Verschiedene Körper von gleicher Größe besitzen manchmal sehr verschiedenes absolutes Gewicht. Ein Stück Blei ist viel schwerer, als ein gleich großes Stück Holz. In vielen Fällen ist es nöthig, das Gewichtsverhältniß der Körper einfach durch Zahlen auszudrücken und man vergleicht zu diesem Behufe das Gewicht eines jeden Körpers mit dem Gewichte eines gleichen Volumens Wasser. **Die Zahl, welche ausdrückt, wieviel mal so schwer ein Körper ist, als ein gleiches Volumen Wasser, nennt**

man das **specifische Gewicht** des Körpers[*]. Ein 48^{gr} schweres Glasstück hat ein Volumen von 20^{cc}, ein gleiches Volumen Wasser wiegt also 20^{gr}, folglich ist das spec. Gew. des Glases 2,4, denn $20 \cdot 2{,}4 = 48$ oder $\frac{48}{20} = 2{,}4$. **Man findet das spec. Gew. eines Körpers, wenn man sein absolutes Gewicht dividirt durch das absolute Gewicht eines gleichen Volumens Wasser.** Bei Körpern, welche leichter sind als Wasser, ist das spec. Gew. ein echter Bruch. Wenn ein Korkwürfel, dessen Seite 2^{cm}, dessen Volumen also $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8^{cc}$ beträgt, 2^{grm} wiegt, so hat er ein spec. Gew. von 0,25, denn 8^{cc} Wasser wiegen 8^{gr} und $\frac{2}{8} = 0{,}25$. Das spec. Gew. (in dem Sinne, in dem die Bezeichnung hier genommen ist) ist eine unbenannte Zahl, es giebt aber, wie man leicht sieht, auch an, wieviel Gramm ein Cubiccentimeter oder wieviel Kilogramm ein Cubicdecimeter eines Körpers wiegt, weil 1^{cc} Wasser 1^{gr}, 1 Cubicdecimeter Wasser 1^{kgr} schwer ist. Soll das spec. Gew. eines Körpers bestimmt werden, so muß zunächst sein absolutes Gewicht und das eines gleichen Wasservolumens ermittelt werden. Ersteres geschieht in bekannter Weise mittelst der Wage, letzteres kann auf sehr verschiedene Weise geschehen, z. B. folgendermaßen:

Ein Gefäß mit seitlich angesetztem Ausflußrohr, Fig. 40 a, füllt man bis über dieses Rohr und läßt den Ueberschuß von Wasser ablaufen. Dann setzt man unter die Ausflußmündung ein gewogenes Gefäß b und bringt den zu untersuchenden Körper c in das Hauptgefäß; um dieses nicht zu zerbrechen, kann man ihn an einen feinen Faden binden und so einsenken. Jetzt wird ein dem eingetauchten Körper gleiches Volumen Wasser aus dem Hauptgefäße ausfließen. Sobald dies geschehen ist, wägt man das untergesetzte Gefäß wieder, die Gewichtszunahme dieses Gefäßes ist einfach das gesuchte Gewicht des verdrängten Wassers. Ein zu untersuchender Stein habe ein Gewicht von $116{,}1^{gr}$, das untergesetzte Gefäß sei leer 48^{gr}, nach dem Hineinlaufen des Wassers 91^{gr} schwer, so ist das Gewicht des verdrängten Wassers $91-48 = 43^{gr}$ und das spec. Gew. des Steines $\frac{116{,}1}{43} = 2{,}7$.

Fig. 40.



1/5 nat. Gr.

Anstatt das ablaufende Wasser zu wägen, kann man es auch in einem Maßgefäße auffangen. Findet man z. B., daß ein 160^{gr} schweres Messingstück 20^{cc} Wasser verdrängt, so ist (da 20^{cc} Wasser 20^{gr} wiegen) das spec. Gew. des Messings $\frac{160}{20} = 8$.

Als Gefäß benutzt man ein etwas großes Trinkglas, das man an einer Stelle nahe am oberen Rande anbohrt. Das Bohren geschieht vermittelst einer runden

[*] Die Anwendung der Bezeichnung „specifisches Gewicht" in dem obigen Sinne ist wissenschaftlich nicht ganz richtig, sie ist aber die im gewöhnlichen Leben gebräuchliche und soll deshalb hier beibehalten werden; richtiger würde man den Begriff durch die Bezeichnung „relative Dichte" ausdrücken.

Feile. Von einer solchen Feile bricht man die Spitze weg, so daß man eine runde Fläche von 2 bis 3^{mm} Durchmesser bekommt. Den Rand dieser runden Fläche benutzt man zum Bohren, indem man die Feile schief auf das Glas aufsetzt. Man faßt dabei die Feile in die rechte Hand und zwar so kurz, daß das abgebrochene Ende an den Daumen zu liegen kommt. Der Daumen dient einmal, um den nöthigen Druck zu geben, zugleich aber auch, um zu verhindern, daß man in dem Augenblick, in welchem das Glas durchbohrt wird, zu weit durch dasselbe hindurchfährt und es zerbricht. Die Feile und das Glas müssen bei dieser Arbeit fleißig mit Wasser benetzt werden (noch besser wirkt Terpentinöl). Sobald das Glas so weit durchgebohrt ist, daß man die Feile der Länge nach ein Stückchen in das Loch hineinschieben kann, faßt man sie am Heft zwischen Daumen und Zeigefinger der rechten Hand und dreht sie ganz langsam und unter schwachem Druck in das Loch hinein, um dieses zu erweitern. Auch dabei muß man benetzen und immer nur links herum drehen, d. h. so, wie man eine Schraube dreht, welche man aufschrauben will, entgegengesetzt der Richtung, in welcher ein Uhrzeiger läuft, sonst zersprengt man das Glas. Braucht man das Loch weiter, als man es erhält, wenn man die Feile bis zu ihrer dicksten Stelle hineindreht, so kann man es erweitern, indem man die Feile wie beim gewöhnlichen Feilen führt, man hat nur darauf zu sehen, daß man der Reihe nach an allen Punkten des Umfangs feilt, damit das Loch nicht unrund wird. Ehe man das Glas für vorliegenden Zweck bohrt, wird man sich an einigen Glasscherben üben. Ist die Feile vorn stumpf geworden, so bricht man mit der Flachzange wieder ein ganz kurzes Stück ab. In das Loch setzt man ein passend gebogenes Glasröhrchen ein. Man biegt erst ein längeres Stückchen Rohr, nach dem Erkalten ritzt man es an der gehörigen Stelle mit der dreikantigen Feile, bricht ab und rundet die Ränder durch Abschmelzen in der Flamme der Weingeist- oder Gaslampe. Das Einsetzen geschieht mit Hülfe eines 2^{cm} langen Stückchens Kautschuckschlauch, das man zuerst fast bis zur Hälfte in das gebohrte Loch schiebt (es muß knapp hineingehen), erst dann schiebt man das mit etwas Talg bestrichene Glasröhrchen leise drehend durch den Schlauch hindurch.

Handelt es sich um die Ermittelung des spec. Gewichtes einer Flüssigkeit, so wird ein Fläschchen mit eingeschliffenem Stöpsel einmal mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, einmal mit Wasser gefüllt und einmal leer gewogen. Achtet man darauf, daß das Fläschchen jedesmal ganz gefüllt wird, so erfährt man auf diese Weise die Gewichte gleicher Volumina von Wasser und der zu untersuchenden Flüssigkeit. Wiegt beispielsweise das Fläschchen leer 60^{gr}, voll Wasser 130^{gr} und mit einer ganz starken Kochsalzlösung gefüllt 144^{gr}, so faßt es $130-60=70^{gr}$ Wasser und $144-60=84^{gr}$ Salzlösung, folglich hat diese ein spec. Gew. von $\frac{84}{70}=1,2$.

Specifische Gewichte einiger Stoffe:

Stoff	Gewicht	Stoff	Gewicht
Blei	11,4	Quecksilber	13,6
Diamant	3,5	Schmiedeeisen	7,8
Elfenbein	1,9	Schwefel	2,0
Gold	19,3 bis 19,5	Silber	10,4
Gußeisen	7,2	Spiegelglas	2,4
Holz[10]	0,4 bis 1,4	Stahl	7,9
Kork	0,2 bis 0,3	Wasser	1,0
Kupfer	8,9	Weingeist	0,8
Platin	20,9 bis 22,1	Zink	7,0
Quarz	2,7	Zinn	7,3

[10] Manche Arten Holz, z. B. das sogenannte Pockholz, sind beträchtlich schwerer als Wasser.

Mechanik,

d. i. Lehre vom Gleichgewicht (Statik) und Lehre von der Bewegung (Dynamik) der Körper.

---

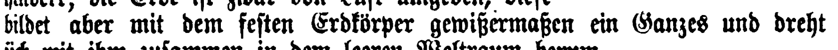
8. **Beharrungsvermögen.** Bemerken wir an einem Körper, daß er seine Lage gegen die Umgebung, daß er seinen Ort nicht ändert, so sagen wir: er ist in Ruhe; die Ortsveränderung eines Körpers nennen wir Bewegung. Gebäude, Bäume u. dgl. sind für gewöhnlich in Ruhe, fahrende Wagen, laufende Menschen u. dgl. sind in Bewegung. Freilich kennen wir keinen Körper, der in wirklicher, vollkommener (absoluter) Ruhe ist. Da die Erde selbst in fortdauernder Bewegung ist, indem sie um die Sonne läuft und sich zugleich um sich selbst dreht, so sind natürlich alle Körper auf ihr mit in Bewegung. Für gewöhnlich aber verstehen wir unter der Bezeichnung Ruhe (relative Ruhe) den Zustand, in dem ein Körper seine Lage gegen die Erde nicht ändert. In diesem Sinne soll hier die Bezeichnung immer genommen werden, wie es auch bei den oben angeführten Beispielen geschehen ist.

Wenn die Bewegung eines Körpers derart ist, daß der ganze Körper nach und nach an andere und immer andere Orte kommt, so nennen wir die Bewegung fortschreitend, im Gegensatz zur drehenden und schwingenden Bewegung, bei der nur die einzelnen Theile eines Körpers ihren Ort ändern, der Körper im ganzen aber an seiner Stelle bleibt. Die Bewegung eines fahrenden Wagens, eines laufenden Menschen, einer abgeschossenen Geschützkugel u. dgl. ist fortschreitend, drehend ist die Bewegung eines Mühlsteines, eines Kreisels, schwingend die des Pendels einer Wanduhr, die einer tönenden Violinsaite u. s. f.; die Bewegung der Erde ist fortschreitend und drehend zugleich.

An ruhenden Körpern, Bäumen, Steinen, den Möbels unserer Zimmer u. dgl. haben wir reichlich Gelegenheit wahrzunehmen, daß sie ihren Zustand nicht ohne äußere Einwirkung ändern, daß sie nicht von selbst in Bewegung gerathen. Sehen wir uns dagegen unter den Körpern um, die wir in Bewegung zu setzen pflegen, so scheint es zunächst, als ob dieselben alle von selbst aus dem Zustand der Bewegung wieder in die Ruhe übergingen. Ein Stein, den wir auf dem Wege fortstoßen, legt eine kurze

Strecke zurück und bleibt dann wieder liegen, eine Kegelkugel, die wir fortrollen, durchläuft einen etwas längeren Weg, kommt aber auch bald wieder zur Ruhe, eine abgeschossene Büchsenkugel vermag einige tausend Schritt weit zu fliegen, eine auf einem glattgefrorenen See längs der Eisoberfläche hingeschossene Kanonenkugel möchte wol einige Meilen weit laufen; schließlich aber kommen alle diese bewegten Körper wieder zur Ruhe. Durch diese Wahrnehmung dürfen wir uns jedoch nicht zu dem Schlusse verleiten lassen, daß alle bewegten Körper von selbst zur Ruhe kommen; denn in allen diesen Fällen lassen sich Ursachen nachweisen, welche die Bewegung verlangsamen und schließlich aufheben. Vor Allem ist es die Reibung, die zwischen einem bewegten Körper und seiner Unterlage stattfindet, welche den ersteren aufhält. Je größer diese Reibung ist, desto schneller vermag sie die Bewegung zu hemmen, deshalb bleibt der auf gewöhnlichem Wege fortgestoßene Stein eher liegen, als die auf ebener Fläche hingerollte Kugel. Außer der Reibung muß ein bewegter Körper aber auch den Widerstand der Luft überwinden, in welcher er sich bewegt. Je mehr es gelingt, auf künstlichem Wege die Reibung und den Luftwiderstand zu vermindern, um so länger läuft ein in Bewegung befindlicher Körper, ehe er zur Ruhe kommt; wenn es möglich wäre, jedes Hinderniß der Bewegung ganz zu beseitigen, so würden wir beobachten können, daß ein bewegter Körper so wenig von selbst zur Ruhe gelangt, wie ein ruhender Körper von selbst in Bewegung geräth. Verhältnißmäßig klein ist die Reibung und der Luftwiderstand bei einem runden Körper, welcher sich um sich selbst dreht, z. B. bei einem Kreisel. Ein schwerer Bleikreisel, Fig. 41, mit stählerner Axe, welche unten in eine stumpfe, polirte Spitze endigt, dreht sich, wenn man ihn in der Höhlung eines Uhrglases laufen läßt, etwa dreiviertel Stunde lang fort; in einem luftleeren Raum bleibt er sogar etwa zwei Stunden lang in Bewegung.

Fig. 41.



¼ nat. Gr.

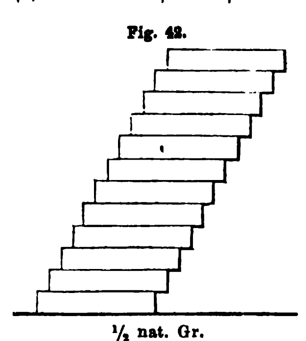
Ein drehender Körper, der gar keine Reibung findet, ist unsere Erde und an dieser können wir in der That sehen, daß sie ihre Bewegung, die wir durch den Auf- und Untergang der Gestirne wahrnehmen, unaufhörlich fortsetzt. Die Axendrehung der Erde wird auch durch keinen Luftwiderstand gehindert; die Erde ist zwar von Luft umgeben, diese bildet aber mit dem festen Erdkörper gewißermaßen ein Ganzes und dreht sich mit ihm zusammen in dem leeren Weltraum herum.

Ohne äußere Einwirkung ändert also ein Körper seinen Zustand in keiner Weise, zu einer solchen Einwirkung aber gehört immer eine gewisse Zeit, sie kann zwar sehr schnell, aber nie urplötzlich geschehen. Legen wir auf ein Blatt Papier einen mäßig großen Körper, einen Stein, ein Stück Holz von einigen Centimetern Durchmesser und ziehen das Papier langsam auf dem Tische fort, so folgt der Körper der Bewegung des Papiers, er bleibt darauf liegen. Die mäßige Kraft, mit welcher die Reibung zwischen ihm und dem Papier ihn vorwärts treibt, reicht aus, um ihn in die langsame Bewegung zu versetzen. Ziehen wir das Papier mit einem Ruck fort, so folgt ihm der Körper nicht, er macht nur eine unmerkliche Bewegung, während das Papier unter ihm fortgleitet. Um dem Körper die größere Geschwindigkeit, die das Papier jetzt hat, zu ertheilen, hätte es einer größeren

Kraft bedurft, als die Reibung zu äußern vermag, oder die Masse des Körpers hätte kleiner sein müssen. Leimen wir ein Stück Holz auf das Papier fest, oder legen wir auf das Papier ein flaches Stück Kork, d. h. machen wir die auf den Körper wirkende Kraft größer oder seine Masse kleiner, so folgt er auch der rascheren Bewegung des Papiers.

Ein ruhender Körper setzt der Ueberführung in die Bewegung einen Widerstand entgegen, der um so größer ist, je mehr Masse der Körper besitzt. Umgekehrt widersteht ein bewegter Körper auch der Ueberführung in die Ruhe um so mehr, je größer seine Masse ist, außerdem auch um so mehr, in je schnellerer Bewegung er sich befindet. Die Eigenschaft der Körper, jeder Aenderung ihres Zustandes einen Widerstand entgegenzusetzen, nennt man ihr Beharrungsvermögen. Die Ueberwindung eines Widerstandes, also auch des Beharrungsvermögens, nennt man mechanische Arbeit. Man muß eine gewisse Arbeit aufwenden, um einen ruhenden Körper in Bewegung zu versetzen, beispielsweise um eine Kegelkugel fortzuschleudern. Die Kugel nimmt dabei die geleistete Arbeit in sich auf, sie erhält einen sogenannten Arbeitsvorrath (Arbeitsinhalt), d. h. sie erlangt die Fähigkeit, selbst Arbeit zu leisten, selbst Widerstände zu überwinden. Rollt sie ruhig fort, so wird ihr Arbeitsvorrath nach und nach verbraucht, um den Reibungswiderstand zu überwinden; trifft die Kugel an einen Kegel, so wird mit einem Male ein großer Theil ihres Arbeitsvorrathes verwendet, um dessen Beharrungsvermögen zu überwinden, d. h. um ihn in Bewegung zu bringen. Je größer die Wucht — oder, um uns des neuen Ausdrucks zu bedienen, je größer der Arbeitsinhalt — eines Körpers ist, womit dieser auf einen ruhenden Körper trifft, in um so schnellere Bewegung vermag er diesen zu versetzen. Es lassen sich einige hübsche Versuche in dieser Richtung anstellen. Legt man eine Anzahl hölzerner Damensteine so aufeinander, daß sie eine kleine senkrechte Säule bilden und schiebt den untersten Stein langsam vorwärts, so läßt sich die ganze Säule vorwärts bewegen, die Reibung zwischen je zwei Steinen reicht aus, die Bewegung immer von dem unteren auf den nächst darüber liegenden Stein zu übertragen. Schiebt man den untersten Stein etwas schneller vorwärts, so erlangt der zweite nicht gleich die nämliche Geschwindigkeit, der dritte eine noch geringere u. s. f., die Säule wird schief, Fig. 42, und fällt um. Schlägt man endlich mit einem schmalen, schweren Körper, z. B. mit dem Rücken einer Messerklinge stark an den untersten Stein, so fliegt er fort, ohne daß die übrigen Steine in merkliche Bewegung gerathen, die Säule fällt um die Dicke des entfernten Steines, bleibt aber aufrecht stehen. Der Versuch gelingt am leichtesten, wenn man das Messer, mit welchem man schlägt, leicht auf dem Tische gleiten läßt, damit es sicher in wagrechter Richtung geführt wird; bei einiger Uebung kann man das Messer auch frei führen und einen Stein aus der Mitte der Säule herausschlagen. Legt man auf die Mündung einer Flasche ein Kartenblatt und auf dieses ein Geldstück, das klein genug ist, um durch den Flaschenhals zu gehen, so läßt sich in ähnlicherweise das Kartenblatt durch Daranschnippen mit dem Finger fortschnellen, ohne daß das Geldstück

Fig. 42.



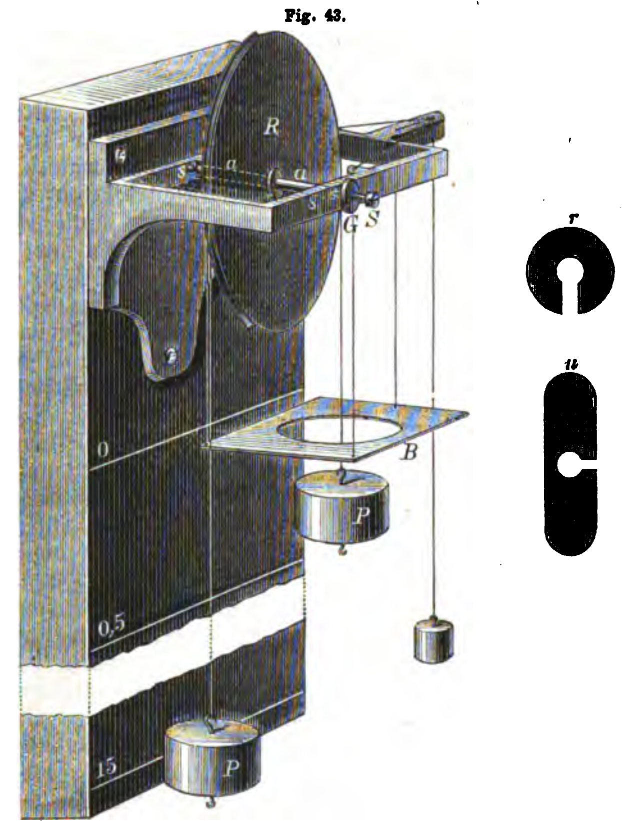
$^1/_2$ nat. Gr.

mitgenommen wird und dieses fällt in die Flasche hinein. Auch bei diesem Versuche hat man darauf zu achten, daß man dem Blatte eine genau wagrechte Bewegung ertheilt. Das leichte Kartenblatt läßt sich schon durch den bewegten Finger in genügende Geschwindigkeit bringen, der etwas schwerere Damenstein erfordert einen Körper von größerem Arbeitsinhalte, das schwerere Messer.

A. Allgemeine Mechanik und Mechanik starrer Körper.

9. Kraft und Masse. Wir haben im vorigen Abschnitt gesehen, daß keine Veränderung in dem Zustande der Körper eintritt ohne besondere Ursachen. Die Ursachen, welche Bewegungen hervorbringen oder abändern, nennen wir **Kräfte**. Wenn wir beobachten, daß jeder Körper, der nicht unterstützt oder sonst befestigt ist, sich nach der Erde zu bewegt, so schreiben wir der Erde das Vermögen zu, die Körper anzuziehen und nennen dieses Vermögen die **Schwerkraft**. Das Gewicht der Körper dient uns als Maß für die Anziehung der Schwerkraft und nach demselben Maße messen wir auch andere Kräfte.

Fig. 43.



a. P. ½ nat. Gr.

Es ist nun unsere Aufgabe, die Verhältnisse zu studiren, in denen die Körper, die darauf wirkenden Kräfte und die durch diese hervorgebrachten Bewegungen zu einander stehen. Für diese Versuche benutzen wir eine sogenannte **Fallmaschine**, wie sie Fig. 43 in möglichst einfacher Form zeigt. Eine massive Messingrolle R von 100^{gr} Gewicht sitzt auf einer dünnen stählernen Axe a a, die sich sehr leicht zwischen den Stahlspitzen s s drehen läßt. Die hintere Spitze ist fest, die vordere mittelst des Schraubenkopfes S stellbar; um sie in der richtigen Lage festzuhalten, dient die sogenannte Gegenmutter G. Die Axe soll sich ganz leicht drehen, ohne zwischen den

Spitzen zu klappern, ist dies nicht der Fall, so dreht man zunächst die Gegenmutter links herum, so daß sie sich von dem Messingrahmen, an welchem sie anliegt, etwa ein Millimeter entfernt, bringt dann durch Drehen des Kopfes S die richtige Stellung der Spitze zuwege und schraubt nun die Mutter G wieder fest, indem man darauf achtet, daß sich die Schraube S s nicht wieder verstellt, also indem man den Griff S festhält. Ueber die Rolle läuft eine dünne seidene Schnur, die an ihren Enden zwei Gewichte P P trägt. Jedes dieser Gewichte ist 70^{gr} schwer und sowol oben als unten mit einem kleinen Haken versehen. Außerdem braucht man noch vier größere Gewichte von je 98^{gr}, und zwei Gewichte von je 1^{gr} und zwei von je 2^{gr} von der Form u. Eine senkrechte Maßtheilung (Scala) von $1^{m},5$ Länge ist in halbe Decimeter getheilt und vor ihr läßt sich das an drei Fäden hängende, durchlöcherte Blech B auf- und abbewegen und vermöge eines Gegengewichtes in beliebiger Höhe feststellen.

Außer der Fallmaschine bedarf man noch einer Vorrichtung zum Messen der Zeit, welche in hörbarer Weise den Ablauf der einzelnen Secunden angiebt. Hat man zufällig eine Schwarzwälder Wanduhr, welche genau Secunden schlägt, so kann man diese benutzen, wo nicht, so nimmt man ein aus einem aufgehängten Bleigewicht bestehendes Pendel, Fig. 44, das an einem dünnen durch ein Glasröhrchen laufenden Seidenfaden ein ganz kleines Gewicht trägt; dieses Gewichtchen liegt, wenn das Pendel in der Ruhelage ist, auf einer harten Unterlage auf und wird bei jedem Hinundhergang des Pendels gehoben und gesenkt, so daß es deutlich hörbar auf die Unterlage aufschlägt.

Fig. 44.



a. P. $1/_{20}$ nat. Gr.

Hängt man die Schnur mit den beiden Gewichten von je 70^{gr} über die Rolle, so muß das Ganze in Ruhe, im Gleichgewicht bleiben. Die Schwerkraft sucht das Gewicht auf der linken Seite und die linke Hälfte der Rolle nach unten zu ziehen und somit die Rolle links herum zu drehen, die rechte Hälfte des Apparates aber wird genau eben so stark nach unten gezogen und diese beiden entgegengesetzten Kräfte heben sich so vollkommen auf, so daß es ist, als wären sie gar nicht vorhanden. Hängt man die Schnur so, daß das eine Gewicht oben an der Rolle, das andere fast unten am Fußboden ist und giebt dem unteren Gewicht mit dem Finger einen leisen Stoß nach oben, so daß es in mäßige Bewegung kommt, so soll es seinen Weg gleichmäßig fortsetzen, bis es oben an der Rolle ankommt, während gleichzeitig das andere Gewicht auf der anderen Seite niedersinkt. Könnten die beiden Gewichte sammt der Rolle ihrem Beharrungsvermögen ganz ungehindert folgen, so würde dies ohne weiteres geschehen, die immer vorhandene Reibung aber bringt eine allmählige Verlangsamung der Bewegung und schließlichen Stillstand hervor. (Der Luftwiderstand ist bei den langsamen Bewegungen, welche hier in Frage kommen, so klein, daß man ihn außer Acht lassen kann, ebenso soll das geringe Gewicht der Schnur, an der die Gewichte hängen, hier unberücksichtigt bleiben.) Um den störenden Einfluß der Reibung zu beseitigen, dient noch ein kleines Gewicht von

der Form r (Fig. 43), welches auf das obere der beiden Gewichte P gelegt wird und welches so abgeglichen ist, daß es eben den Einfluß der Reibung das Gleichgewicht hält, es soll also, für sich allein, noch keine Bewegung des Apparates veranlassen, aber gerade hinreichen, um die einmal durch Anstoß mit dem Finger erzeugte Bewegung zu unterhalten. Natürlich kann das nur geschehen, wenn das mit diesem sogenannten Reibungsgewicht versehene Gewicht das niedersinkende ist. Im Folgenden soll immer das Gewicht auf der rechten Seite des Apparates das fallende sein und also auch das Reibungsgewicht immer rechts liegen. Da die Reibung um so größer ist, je schwerer die an die Rolle gehängten Gewichte sind, so bedarf man dreier solcher Reibungsgewichte, eines für den Fall, daß nur 70^{gr} auf jeder Seite hängen, eines für $70 + 98 = 168^{gr}$ und eines für $70 + 98 + 98 = 266^{gr}$ Belastung auf jeder Seite.

1) Man stelle jetzt das durchlöcherte Blech 2 Decimeter unter dem Nullpunkt der Scala auf, lege auf das linke Gewicht die beiden Eingrammstücken, auf das rechte (außer dem Reibungsgewicht) die beiden Zweigrammstücken, so daß sich links 72^{gr}, rechts 74^{gr} befinden und bringe den oberen Rand des rechten Gewichtes in die Höhe des Nullpunktes der Scala, nachdem man das Secundenpendel in Bewegung versetzt hat. Durch leises Anlegen des Fingers an die Rolle hält man zunächst den Fallapparat in Ruhe und läßt ihn dann genau bei einem Secundenschlage los, indem man zugleich darauf achtet, beim Loslassen dem Rade keinen Stoß nach vorwärts oder rückwärts zu geben. Ist alles gut gelungen, so hört man genau 2 Secunden (2^s) nach dem Loslassen des Apparates die Uebergewichte auf das Blech aufschlagen, es ist also der Weg von 2 Decimeter in 2^s durchlaufen worden und zwar unter dem Einflusse einer Kraft von 2^{gr}, denn da sich links 72^{gr}, rechts 74^{gr} befinden, so kommt nur das Uebergewicht von 2^{gr} zur Wirkung.

2) Um nun zu sehen, wie sich die Geschwindigkeit ändert, wenn die Kraft eine andere wird, bringe man noch ein Eingrammgewicht von links nach rechts, so daß man links $70 + 1 = 71^{gr}$, rechts $70 + 2 + 2 + 1 = 75^{gr}$, also eine wirksame Kraft von $75 - 71 = 4^{gr}$ hat. Jetzt muß man das durchlöcherte Blech 4 Decimeter unter dem Anfangspunkt der Bewegung feststellen, wenn das Aufschlagen der Uebergewichte genau nach 2^s erfolgen soll, es wird also in derselben Zeit der doppelte Weg durchlaufen, die Geschwindigkeit ist doppelt so groß, als beim vorhergehenden Versuch.

3) Läßt man endlich links nur 70^{gr} und bringt auch das zweite Eingrammstück nach rechts, so daß das Gewicht auf dieser Seite $70 + 2 + 2 + 1 + 1 = 76^{gr}$, die wirksame Kraft $76 - 70 = 6^{gr}$ beträgt, so wird ein Weg von 6 Decimeter in 2^s durchlaufen, die Geschwindigkeit ist dreimal so groß, als beim ersten Versuch. Die zu bewegende Masse war bei allen drei Versuchen die nämliche, die darauf einwirkende Kraft aber war beim zweiten Versuch zweimal, beim dritten dreimal so groß, als beim ersten und in demselben Verhältniß standen auch die erlangten Geschwindigkeiten, wir gelangen somit zu dem Gesetze: *Die Geschwindigkeiten, welche eine Masse unter dem Einflusse verschieden großer Kräfte in einer gewissen Zeit erlangt, verhalten sich wie die Größen dieser Kräfte*, oder mit anderen Worten, *die erlangten Geschwindigkeiten sind den Kräften direct proportional.*

Um zu sehen, was geschieht, wenn eine und dieselbe Kraft auf ver-

schieden große Massen wirkt, hängen wir an die 70=Grammgewichte noch andere Gewichte an. Wir müssen aber bedenken, daß die in Bewegung zu versetzende Masse nicht nur die Masse der Gewichte, sondern auch die Masse der Rolle ist. Eine Schwierigkeit liegt nun darin, daß unsere Rolle eine drehende Bewegung macht, während die Gewichte eine fortschreitende Bewegung machen. Die einzelnen Theile der Gewichte haben in jedem Augenblicke unter einander alle gleiche Geschwindigkeit, von der Rolle haben aber nur die am äußersten Umfang liegenden Theile dieselbe Geschwindigkeit, wie die Gewichte, die näher nach dem Mittelpunkt liegenden Theile beschreiben bei der Drehung kleinere Kreise und bewegen sich also langsamer, der Mittelpunkt der Rolle ist sogar in Ruhe. Um dem Umfange der Rolle, auf dem die Schnur aufliegt, eine gewisse Geschwindigkeit zu ertheilen, wird man also eine kleinere Kraft brauchen, als wenn die ganze Masse der Rolle in dieselbe Geschwindigkeit versetzt werden sollte, und zwar ist die Kraft gerade halb so groß als im zweiten Falle. Unsere 100^{gr} schwere Rolle erfordert also für ihre Bewegung nur soviel Kraft, wie ein 50^{gr} schweres Gewicht. Bei dem zuletzt erwähnten Versuche, wo links 70^{gr}, rechts 76^{gr} hängen, hat die Kraft, mit welcher die Erde das Uebergewicht von 6^{gr} anzieht, nicht nur diese $70 + 76 = 146^{gr}$ in Bewegung zu setzen, sondern auch die Rolle, welche wir so rechnen, als ob sie nur 50^{gr} wöge, aber alle ihre Theile mit den Gewichten gleiche Geschwindigkeit hätten. Es werden also im ganzen $50 + 70 + 76 = 196^{gr}$ durch eine Kraft von 6^{gr} in Bewegung versetzt und durchlaufen in 2 Secunden 6 Decimeter.

4) Hängen wir nun auf jede Seite noch ein Gewicht von 98^{gr}, so sind zu bewegen (Rolle $= 50) + (70 + 98) + (70 + 98 + 2 + 2 + 1 + 1) = 392^{gr}$. Die zu bewegende Masse ist also doppelt so groß wie beim dritten Versuche, während die bewegende Kraft dieselbe ist (6^{gr}). Wir müssen jetzt das durchlöcherte Blech in 3 Decimeter Höhe anbringen, um nach 2 Secunden die Gewichte aufschlagen zu hören, es wird also in derselben Zeit ein nur halb so großer Weg durchlaufen.

5) Hängen wir nochmals auf jeder Seite 98^{gr} an, so daß im Ganzen $392 + 98 + 98 = 588^{gr}$ zu bewegen sind, die Masse also dreimal so groß ist, als beim dritten Versuche, so muß das Blech auf 2 Decimeter gestellt werden, damit die Gewichte rechtzeitig aufschlagen, der Weg ist also nur ein Drittel so groß, wenn die gleiche Kraft die dreifache Masse bewegen muß. Wenn, wie beim 3., 4. und 5. Versuche, dieselbe Kraft auf verschiedene Massen wirkt, so ist die hervorgebrachte Geschwindigkeit um so kleiner, je größer die Masse ist: die erlangten Geschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Massen oder, genauer ausgedrückt: die Geschwindigkeiten, welche verschiedene Massen unter dem Einflusse gleicher Kräfte annehmen, sind den Massen umgekehrt proportional.

Beim ersten Versuche legten die Gewichte von 70 und 76^{gr}, die sich mit der Rolle zusammen wie 196^{gr} verhielten, unter dem Einflusse einer Kraft von 2^{gr} einen Weg von 2 Decimeter zurück, beim fünften Versuche durchliefen 588^{gr} denselben Weg unter dem Einflusse einer Kraft von 6^{gr}, es ist also die Masse dreimal so groß, als beim ersten Versuch und die Kraft ist ebenfalls dreimal so groß, die Geschwindigkeit ist gleich.

6) Wollen wir eine Masse, doppelt so groß als beim ersten Versuch in die nämliche Geschwindigkeit versetzen, d. h. wollen wir sie in 2 Secunden 2 Decimeter durchlaufen lassen, so müssen wir links $98 + 70 + 1 = 169^{gr}$,

rechts 98 + 70 + 2 + 2 + 1 = 173gr, also ein Uebergewicht von 173—169 = 4gr anwenden, die 173 + 169 = 342gr mit der für 50gr zu rechnenden Rolle verhalten sich wie 392gr, es ist also sowol die bewegte Masse, als auch die bewegende Kraft zweimal so groß, als beim ersten Versuch. Durch Vergleichung des 1., 5. und 6. Versuches finden wir also den Satz: **Wenn verschiedene Massen in gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeiten annehmen, so verhalten sich die bewegenden Kräfte wie die Massen.**

Die Rolle der Fallmaschine muß, wenn sie irgend brauchbar sein soll, sehr genau gedreht sein, man wird sie daher jedenfalls sammt dem Rahmen, in welchem sie läuft, vom Mechaniker kaufen. Mittelst dreier rundköpfiger Holzschrauben[11] wird der Rahmen an eine senkrechte Fläche befestigt. Man kann ihn an eine Thürpfoste oder an eine Wand unmittelbar anschrauben, nur müssen in der Wand dann drei hölzerne Dübel eingeschlagen werden, man kann aber auch den Rahmen an ein besonderes 1,m6 hohes, 12cm breites, 2cm dickes Brett festmachen, in das man von der Seite einen starken eisernen Haken in Tischhöhe einschraubt, um das Brett beim Gebrauch am Tische mit einer hölzernen Schraubzwinge befestigen zu können, Fig. 45. Sollte

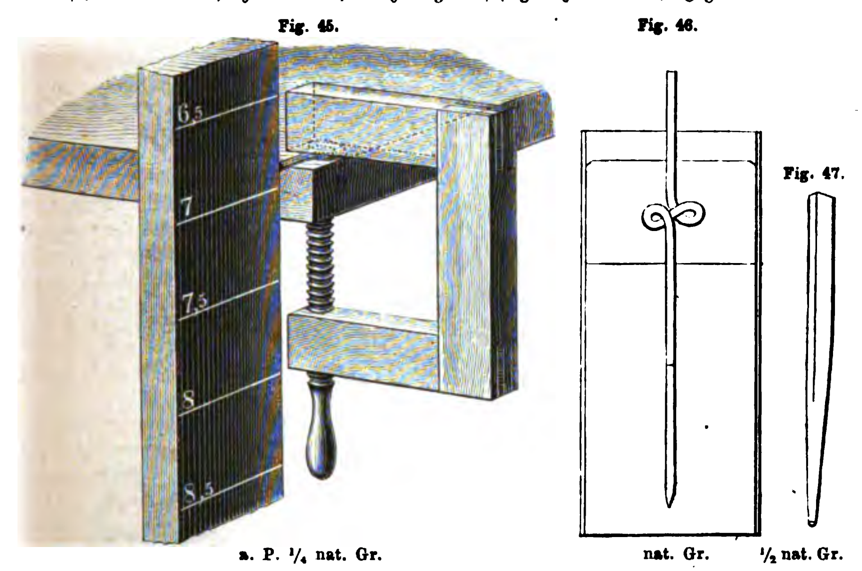


Fig. 45. a. P. 1/4 nat. Gr. Fig. 46. nat. Gr. Fig. 47. 1/2 nat. Gr.

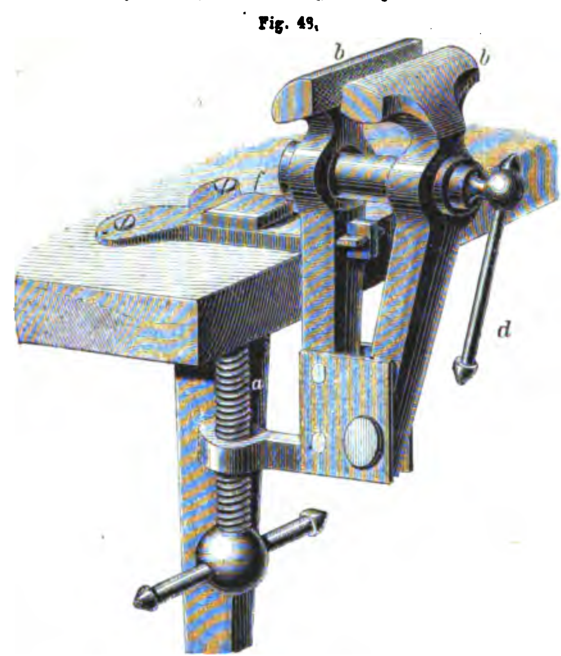
nach dem Anschrauben und Senkrechtstellen das Brett nicht feststehen, so braucht man nur zwischen das untere Ende des Brettes und dem Fußboden ein keilförmig geschnitztes Holzspähnchen einzuschieben. Die Theilung kann man mit einem starken Bleistift nach einer gewöhnlichen Schmiege unmittelbar auf das Brett oder auf die Wand aufzeichnen; will man die Wand oder Thür nicht verderben, so entwirft man die Theilung auf einem Streifen starken Zeichenpapiers, den man beim Anschrauben hinter das Messinggestell der Fallmaschine legt und so anklemmt. Das untere Ende wird mit zwei Drahtstiften oder Copirzwecken befestigt, damit der Streifen festliegt.

Die Gewichte werden aus Blei gegossen und zwar 2,cm5 stark. In das Holzstück, um welches man das Papier wickelt, bohrt man ein dünnes Loch und steckt in dieses einen etwa millimeterstarken Messing- oder Kupferdraht, dessen Enden man später zu Häkchen biegt. Um den Draht sicher im Blei zu befestigen, giebt man ihm die in Fig. 46

[11] Holzschrauben sind eiserne (selten messingne) Schrauben, die sich vermöge ihres scharfen Gewindes in ein mit dem Nagelbohrer gemachtes Loch in Holz einschrauben lassen, man hat rundköpfige und flachköpfige.

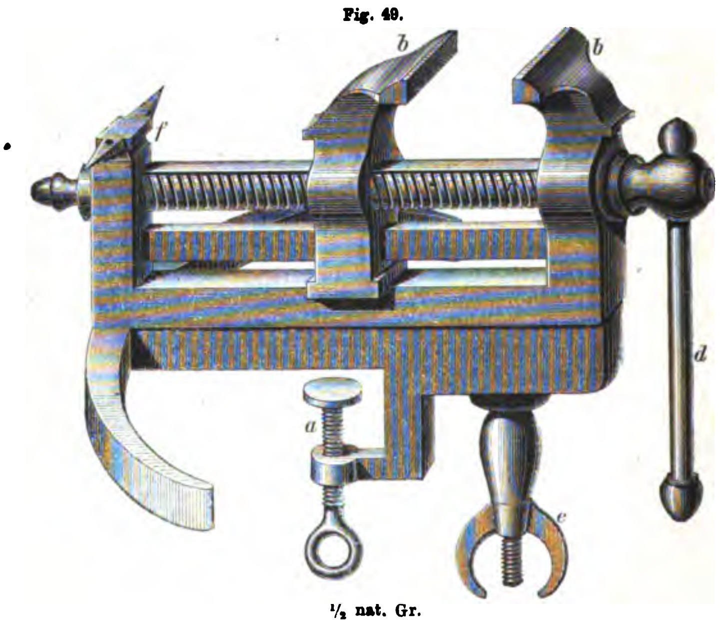
angedeutete Form. Die Reibungsgewichte und Eingrammübergewichte schneidet man aus Messingblech, zu den Zweigrammgewichten kann man Zinkblech nehmen. Mittelst eines Durchschlages, Fig. 47, schlägt man in der Mitte ein rundes Loch durch, wobei man dem Blech ein Stück Blei als Unterlage giebt, schneidet dann von einer Seite her mit zwei Schnitten bis in das Loch hinein, klopft das Blech, das sich dabei verbiegt, wieder eben und giebt ihm schließlich durch Befeilen das richtige Gewicht. Zum Schneiden von so dünnem Blech kann man sich allenfalls einer kräftigen, gewöhnlichen Scheere bedienen, besser ist es freilich, sich eine kleine Blechscheere anzuschaffen, deren einen Arm man wagrecht in einen Schraubstock spannt. Ein Schraubstöckchen muß man auf alle Fälle haben, mindestens eines von der in Fig. 48 dargestellten Art, besser ist ein kleiner Parallelschraubstock, Fig. 49. Mittelst der Schraube a wird

Fig. 48.



a. P. ⅓ nat. Gr.

Fig. 49.



½ nat. Gr.

der Schraubstock an die Ecke eines recht festen Tisches oder an ein Fensterbrett befestigt, der Griff d dient, um mittelst der Schraube c einen Gegenstand zwischen die Backen b b einzuspannen. Der obere Theil des Parallelschraubstocks läßt sich nach dem Lösen der Flügelschraube e drehen und durch Wiederanziehen der Schraube in beliebiger Stellung festklemmen, was für viele Zwecke sehr bequem, und wenn sich der Schraubstock nicht an der freistehenden Ecke eines Tisches befindet, fast unentbehrlich ist. Die an dem kleinen Ambos f beim Parallelschraubstock angebrachten Hervorragungen (Sperrhörner) dienen, um Draht oder Blech auf ihnen rund oder winkelig umklopfen zu können.

Die Gewichte müssen ziemlich genau justirt sein; kauft man sie vom Mechaniker, so erhält man auch die größeren von Messing und nur die 70=Grammstücken mit Haken, die anderen oben mit kleinen Schrauben versehen, welche in eingeschnittene Muttergewinde am unteren Theile der Gewichte passen.

Die Schnur (ein Faden cordonnirte Seide) soll so lang sein, daß das eine Gewicht nahe an der Messingrolle ist, wenn das andere auf dem Boden aufsteht, man darf aber beim Gebrauche die Gewichte nicht auf den Boden aufstoßen lassen, weil sich dabei die Haken umbiegen oder auch aushaken können; ein untergesetztes Kästchen mit Sägespähnen schützt vor diesen Unfällen für den Fall, daß man vergessen sollte, die Schnur rechtzeitig mit der Hand festzuhalten.

Das Pendel besteht aus einer Scheibe von Blei, welche etwa 1^{kgr} wiegt und an einer dünnen Hanf= oder Seidenschnur aufgehängt ist. Vom Tischler oder noch besser vom Drechsler läßt man sich eine Holzscheibe von 6 bis 8^{cm} Durchmesser und etwa 2^{cm} Dicke machen, bohrt in die Mitte ein dünnes, nicht ganz durchgehendes Loch, um einen Draht wie in Fig. 46 hineinstecken zu können, umgiebt die Scheibe mit einem Papierrande, stellt sie möglichst genau wagrecht und gießt ohngefähr 1^{kgr} geschmolzenes Blei (lieber mehr, als weniger) hinein. Das unten aus der Bleischeibe hervorragende Drahtstück biegt man zu einem ganz kleinen Ring, welcher dicht an der Scheibe anliegt, oberhalb kann man den Draht einige Centimeter vorragen lassen, man richtet ihn gerade und senkrecht gegen die Scheibe und biegt oben einen kleinen Haken. Das kleine Gewicht macht man aus einem Blechstückchen (Kupfer oder Messing) von etwa 1^{cm} Durchmesser und $0,^{mm}5$ Dicke, auf das man in der Mitte einen kleinen Drahtring zum Anknüpfen eines Fadens auflöthet; an dem Faden hängend muß die kleine Metallscheibe wagrecht schweben, so daß sie sich flach auf ihre Unterlage (einen Teller oder dergl.) auflegt. Den Faden, an welchem das Bleigewicht hängt, macht man so lang, daß die Entfernung von dem Punkte, wo er oben befestigt ist, d. h. von dem unteren Rande des Retortenhalterarmes bis zu der Mitte der Bleischeibe oder mit anderen Worten, die Länge des freien Fadens (der Länge des vorstehenden Drahthakens) der halben Dicke der Scheibe gleich 99^{cm} ist; selbstverständlicherweise muß der Faden gemessen werden, während das Bleigewicht daran hängt, weil ihn dieses ausdehnt. Den dünnen Faden für das Schlaggewicht macht man so lang, daß dieses eben auf seiner Unterlage aufliegt, wenn das Bleigewicht ruhig hängt; das Glasröhrchen, durch welches er hindurchgeht, soll etwa 2^{mm} weit sein, die Ränder der Enden müssen über der Lampe abgerundet werden, damit sie den Faden nicht kratzen. Beim Gebrauche bringt man das Bleigewicht soweit aus seiner Gleichgewichtslage heraus, daß das kleine Gewicht noch nicht ganz bis an das Glasröhrchen heraufgezogen wird und läßt es dann los. Ist das Ganze nach den angegebenen Maßen ausgeführt, so wird das Pendel zwar nicht ganz genau, aber für den vorliegenden Zweck hinlänglich richtig Secunden schlagen, es geht nicht eben lange fort, aber für einen Versuch vollauf genügend lange und vor einem zweiten Versuche setzt man es von neuem in Bewegung. Ein Pendel, das längere Zeit fortgeht und genaue Secunden hörbar schlägt ist ziemlich kostspielig und für unsere Versuche nicht nöthig.

10. Fall. Lassen wir Körper aus einiger Höhe herabfallen, so nehmen sie verschiedene Geschwindigkeit an, ein Stück Papier oder eine Flaumfeder fällt langsamer als ein Stück Blei oder Holz und bei einer beträchtlichen Fallhöhe bemerken wir wol auch noch, daß das Blei eher am Boden ankommt

als das Holz. Diese verschiedene Fallgeschwindigkeit ist aber keineswegs darin begründet, daß die Schwere in verschiedener Weise auf diese Körper wirkt, sondern lediglich in dem Widerstande der Luft. Ein Körper von geringem specifischen Gewicht, überhaupt jeder Körper, dessen Oberfläche im Verhältniß zu seiner Masse recht groß ist, wird von der Luft mehr aufgehalten und fällt darum langsamer, als ein specifisch schwerer Körper mit kleiner Oberfläche. Man hat große Glascylinder luftleer gemacht und in diesen Fallversuche mit den mannichfachsten Körpern angestellt, dabei hat man gefunden, daß, sobald der Luftwiderstand beseitigt ist, alle Körper genau gleich schnell fallen, sie mögen groß oder klein sein, ein großes oder kleines specifisches oder absolutes Gewicht besitzen.

Man schneide aus dünnem Papier ein rundes Scheibchen, einige Millimeter kleiner als eine Münze (ein Thaler oder eine große Kupfermünze), lege dasselbe auf die Münze, fasse diese mit dem Daumen und Mittelfinger an entgegengesetzten Punkten des Randes, halte sie wagrecht etwa $0,^{m}5$ über den Tisch und lasse sie los: das Papier bleibt jetzt keineswegs hinter der Münze zurück, sondern kommt mit ihr gleichzeitig auf dem Tische an, das Metallstück drängt die Luft zur Seite und das Papier kann ungehindert fallen. Die Geschwindigkeit eines freifallenden Körpers ist so groß, daß seine Bewegung schwer zu beobachten ist; bequemer studiren sich die Gesetze des Falles mit der im vorigen Abschnitt besprochenem Maschine. Die Erscheinungen treten hier in ganz ähnlicher Weise, wie beim freien Fall, nur langsamer ein. Der aus dem 1., 5. und 6. Versuch abgeleitete (dritte) Satz sagte uns, daß verschiedene Massen gleiche Geschwindigkeiten annehmen, wenn die Kräfte, welche auf sie wirken, den Massen proportional sind. Wenn wir nun sehen, daß im luftleeren Raume alle Körper gleich schnell fallen, so müssen wir daraus schließen, daß die Kraft, mit welcher sie die Erde anzieht, der Masse dieser Körper proportional ist, daß also beispielsweise ein Körper, dessen Masse sechsmal so groß ist, als die eines anderen, auch sechsmal so stark von der Erde angezogen wird, als dieses. Infolge des Beharrungsvermögens behält ein Körper, der einmal in Bewegung ist, seine Geschwindigkeit unverändert bei, wenn er keinen Widerstand zu überwinden hat und auch keine Kraft auf ihn einwirkt, ein solcher Körper macht also eine gleichförmige Bewegung, er durchläuft in gleichen, aufeinanderfolgenden Zeiten gleich große Wege. Wirkt dagegen eine Kraft dauernd auf einen Körper ein, so daß sie ihn also immer mehr und mehr antreibt, so nimmt seine Geschwindigkeit fortwährend zu, er macht eine beschleunigte Bewegung. Wenn die Kraft, wie es bei der Schwerkraft der Fall ist, immer gleichmäßig wirkt, so nimmt auch die Geschwindigkeit gleichmäßig zu, die Bewegung heißt in diesem Falle eine gleichmäßig beschleunigte. Wenn sich an der Fallmaschine links $70 + 98 + 98 = 266^{gr}$, rechts $70 + 98 + 98 + 2 + 2 + 1 + 1 = 272^{gr}$ befinden, wenn also (immer die Rolle wie 50^{gr} gerechnet) auf 588^{gr} eine Kraft von 6^{gr} wirkt, so nimmt die Fallgeschwindigkeit in jeder Secunde um 1 Decimeter zu; da sie anfangs Null ist, beträgt sie also nach einer Secunde 1^{decim}, nach 2 Secunden 2^{decim}, nach 3 Secunden 3^{decim} u. s. f. Der Weg, den das fallende Gewicht zurücklegt, beträgt aber nicht etwa in der ersten Secunde 1^{decim}, in der nächsten 2^{decim} u. s. w., denn die Geschwindigkeit von 1^{decim} hat das Gewicht nicht während der ganzen ersten Secunde, sondern es erreicht diese Geschwindigkeit erst mit dem Ende dieser Secunde. Da das Gewicht anfangs gar keine

Geschwindigkeit, am Ende der ersten Secunde aber die Geschwindigkeit von 1^{decim} besitzt und innerhalb dieser Zeit die Geschwindigkeitszunahme gleichmäßig erfolgt, so wird es einen Weg durchlaufen, der so groß ist, als ob es eine Secunde lang die mittlere Geschwindigkeit gehabt hätte, das Mittel aus 0 und 1 ist aber 0,5, das Gewicht wird also in der ersten Secunde einen Weg von $0,^{\text{decim}}5$ durchlaufen. Am Ende der 1., das ist mit anderen Worten am Anfang der zweiten Secunde, hat das Gewicht eine Geschwindigkeit von 1^{decim}, am Ende der zweiten Secunde eine Geschwindigkeit von 2^{decim}, die mittlere Geschwindigkeit der zweiten Secunde ist also $1,^{\text{decim}}5$ und so groß ist also auch der in dieser Zeit durchlaufene Weg. Fährt man auf diese Weise fort zu rechnen, so erhält man die folgende kleine Tabelle:

I.	II. Anfangsgeschwindigkeit	III. Endgeschwindigkeit	IV. Mittlere Geschwindigkeit oder in der einzelnen Secunde durchlaufener Weg	V. Ganzer, seit dem Anfange der Bewegung durchlaufener Weg
1. Secunde	0	1	$\frac{0+1}{2}=0{,}5$	0,5 . . . . = 0,5=1·1·0,5
2. Secunde	1	2	$\frac{1+2}{2}=1{,}5$	0,5+1,5 . . . . . . = 2,0=2·2·0,5
3. Secunde	2	3	$\frac{2+3}{2}=2{,}5$	0,5+1,5+2,5 . . . . = 4,5=3·3·0,5
4. Secunde	3	4	$\frac{3+4}{2}=3{,}5$	0,5+1,5+2,5+3,5 . = 8,0=4·4·0,5
5. Secunde	4	5	$\frac{4+5}{2}=4{,}5$	0,5+1,5+2,5+3,5+4,5=12,5=5·5·0,5

Um die Länge des ganzen, in einer gewissen Zeit durchlaufenen Weges zu finden, braucht man nur die in den einzelnen Secunden durchlaufenen Wege zu addiren, wie dies in Spalte V. geschehen ist. Die in dieser Spalte zuletzt angegebenen Zahlen zeigen übrigens, daß man den in einer gewissen Zeit durchlaufenen Weg auch einfacher finden kann, als durch Summirung der einzelnen Secundenwege, indem man nämlich die Anzahl der Secunden mit sich selbst und dann noch mit 0,5 multiplicirt, d. h. mit dem Wege, welcher in der ersten Secunde durchlaufen wird, oder, was dasselbe ist, mit der Hälfte der in jeder Secunde stattfindenden Geschwindigkeitszunahme. Das Product, welches man durch Multipliciren einer Zahl mit sich selbst erhält, heißt das *Quadrat dieser Zahl* (25 ist also das Quadrat von 5) und die bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung in jeder Secunde stattfindende Geschwindigkeitszunahme nennt man kurzweg die *Beschleunigung* (*Acceleration*), hiernach kann man die oben angegebene Regel auch so aussprechen:

Man findet die Größe des bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung von Anfang an bis nach Ablauf einer gewissen Zeit durchlaufenen Weges, wenn man das Quadrat der Zeit mit der halben Beschleunigung multiplicirt. Soll man z. B. berechnen, welchen Weg das Gewicht der Fallmaschine in 7 Secunden durchlaufen würde, wenn die Fallmaschine dazu hoch genug wäre, so hat man einfach zu nehmen 7 · 7 · 0,5 = 24,5, der gesuchte Weg ist also $24,^{\text{decim}}5$.

Läßt man die Fallmaschine, die man auf die am Anfange dieses Abschnitts angegebene Weise belastet hat, ihre Bewegung bei einem Schlage des Pendels beginnen, nachdem das durchlöcherte Blech ganz an das untere Ende der Scala gebracht worden ist, so sieht man das Gewicht beim nächsten Schlage bei 0,5, beim zweiten bei 2,0 u. s. f., beim dritten, vierten, fünften Schlage bei 4,5, 8,0 und 12,5 Decimeter vorbeigehen. Will man sich davon überzeugen, daß die in den verschiedenen Zeiten erlangten Geschwindigkeiten wirklich so sind, wie sie unsere Tabelle angiebt, so stellt man das durchlöcherte Blech der Reihe nach auf die Punkte, an denen das Gewicht am Ende der ersten, zweiten, dritten; vierten Secunde ankommt. Auf das Hauptgewicht legt man zuerst das kreisförmige Reibungsgewicht und dann die 4 Uebergewichte. Die Kraft der Uebergewichte bringt das Ganze in gleichmäßig zunehmende Geschwindigkeit, sobald aber das fallende Gewicht durch das durchlöcherte Blech hindurchgeht, bleiben die Uebergewichte auf diesem liegen, die beschleunigende Kraft hört auf zu wirken und die Gewichte bewegen sich lediglich in Folge des Beharrungsvermögens weiter. Von dem Augenblick an, in welchem die Uebergewichte aufschlagen, nimmt also die Geschwindigkeit nicht mehr zu, sondern sie bleibt sich gleich und man kann also an dem in der Folge zurückgelegtem Wege sehen, wie groß die Geschwindigkeit in jenem Augenblicke war. Hängt das Blech bei 0,5, so daß das Uebergewicht mit dem ersten Secundenschlage aufhört zu wirken, so kommt das folgende Gewicht beim zweiten Schlage bei 1,5, beim dritten bei 2,5, beim vierten bei 3,5 an, es legt also in jeder Secunde einen Weg von 1^{decim} zurück. Hängt das Blech bei 2,0, so daß nach 2 Secunden das Uebergewicht abgefangen wird, so kommt das fortgehende Gewicht am Ende der dritten, vierten, fünften Secunde bei 4,0, 6,0, 8,0 an, es hat also eine Geschwindigkeit von 2^{decim}.

Hängt das Blech bei 4,5, so kommt das fortgehende Gewicht in den folgenden Secunden nach 7,5, 10,5, 13,5, hängt das Blech bei 8,0, so kommt das Gewicht in der nächsten Secunde nach dem Aufschlagen des Uebergewichtes nach 12,0.

Auf diese Weise läßt sich die oben angeführte Rechnung vollkommen durch Versuche bestätigen, man hat nur darauf zu achten, das die Uebergewichte nicht einseitig liegen, damit der Faden durch ihre Einschnitte hindurchgehen kann, ohne sich zu reiben. Bequem ist es für diese Versuche, wenn man anstatt der einzelnen Uebergewichte von 2^{gr} und 1^{gr} noch ein einzelnes von 6^{gr} hat, doch ist dies nicht eben nöthig. Nach der ersten Fallsecunde ist die Geschwindigkeit noch ziemlich gering und eine kleine Ungenauigkeit in der Höhe des Fangbleches kann dann einen ziemlich bedeutenden Fehler in der Geschwindigkeit des weitergehenden Gewichtes veranlassen, am besten gelingen die Versuche für die Geschwindigkeit nach zwei, drei und vier Secunden.

Die Bewegungsverhältnisse eines freifallenden Körpers sind, wie gesagt, ganz ähnlich, nur ist die Beschleunigung eine viel größere. Auf unsere 588^{gr} schwere Masse wirkte nur eine Kraft von 6^{gr}, lassen wir dagegen eine gleich schwere Masse frei fallen, so daß sie nichts anderes in Bewegung zu setzen hat, als sich selbst, so wirkt auf sie eine Kraft von $588 = 98 \cdot 6^{gr}$. Nach dem ersten Satze des vorigen Abschnittes verhalten sich aber die in gleichen Zeiten erlangten Geschwindigkeiten oder mit anderen Worten, die Beschleunigungen direct wie die Kräfte, bei einer 98 mal so großen Kraft wird also auch eine 98 mal so große Beschleunigung stattfinden, die frei fallenden

588^{gr} würden also eine Beschleunigung von $98 \cdot 1^{decim} = 9,^m8$ besitzen und da, wie im Eingange dieses §. erwähnt, alle freifallenden Körper gleich schnell fallen, wenn sie keinen Luftwiderstand zu überwinden haben, so ist $9,^m8$ ganz allgemein die Beschleunigung, welche die Schwere einem fallenden Körper ertheilt oder kurz ausgedrückt, **die Beschleunigung der Schwere.** Für eine Bleikugel, einen Stein und ähnliche Körper, die bei kleiner Oberfläche ein großes Gewicht besitzen und also verhältnißmäßig wenig Luftwiderstand finden, kann man mit Hülfe der oben angegebenen Regel leicht berechnen, welchen Weg sie ohngefähr in einer gewissen Zeit durchfallen. Läßt man z. B. einen Stein in einen Brunnen fallen, und hört, daß er nach 2,5 Secunden auf das Wasser aufschlägt, so findet man die Tiefe des Wasserspiegels = Zeit mal Zeit mal halbe Beschleunigung $= 2,5 \cdot 2,5 \cdot \frac{9,^m8}{2} = 30,^m625$.

Die am Ende der einzelnen Secunden erlangten Geschwindigkeiten ergeben sich, da die Geschwindigkeit in jeder Secunde um $9,^m8$ zunimmt, wie folgt:

1. Secunde . . .	$1 \cdot 9,8 = 9,^m8$	4. Secunde . . .	$4 \cdot 9,8 = 39,^m2$
2. Secunde . . .	$2 \cdot 9,8 = 19,^m6$	5. Secunde . . .	$5 \cdot 9,8 = 49,^m0$
3. Secunde . . .	$3 \cdot 9,8 = 29,^m4$	6. Secunde . . .	$6 \cdot 9,8 = 58,^m8$

Ferner ergeben sich folgende zusammengehörige Fallzeiten und Fallräume:

1 Secunde	$1 \cdot 4,9 = 4,^m9$	4 Secunden . .	$16 \cdot 4,9 = 78,^m4$
2 Secunden . . .	$4 \cdot 4,9 = 19,^m6$	5 Secunden . .	$25 \cdot 4,9 = 122,^m5$
3 Secunden . . .	$9 \cdot 4,9 = 44,^m1$	6 Secunden . .	$36 \cdot 4,9 = 176,^m4$

11. Wurf. Wenn auf einen frei beweglichen Körper mehrere Kräfte zugleich einwirken, so folgt er auch allen gleichzeitig. Durch Werfen mit der Hand können wir einem Körper eine Geschwindigkeit ertheilen, die er infolge des Beharrungsvermögens unverändert beibehalten würde, wenn nicht die Schwerkraft auf ihn wirkte. Werfen wir von einem hohen Punkte, etwa von einem Thurme, einen Stein senkrecht nach unten mit einer Geschwindigkeit von 10^m, so würde er in einer Secunde 10^m, in zwei Secunden 20^m, in drei Secunden 30^m durchlaufen, wenn keine Schwerkraft vorhanden wäre. Wie wir im vorigen §. sahen, bewegt aber die Schwere einen fallenden Körper in einer Secunde um $4,^m9$, in zwei Secunden um $19,^m6$, in drei Secunden um $44,^m1$ abwärts. Unser Körper wird also in einer Secunde durch den Wurf um 10^m, durch die Schwerkraft um $4,^m9$ nach unten gebracht, zusammen also um $14,^m9$. In zwei Secunden durchläuft er infolge des Wurfes 20^m, infolge der Schwerkraft $19,^m6$, zusammen also $39,^m6$. Ebenso findet man den Weg für drei Secunden $30^m + 44^m,1 = 74,^m1$.

Die Geschwindigkeit nimmt, wie bei einem einfach fallenden Körper, in jeder Secunde um $9,^m8$ zu. Ist sie, wie wir annahmen, in dem Augenblick, in welchem der Stein die Hand verläßt, 10^m, so ist sie nach einer Secunde $10 + 9,8 = 19,^m8$, nach zwei Secunden $10 + 2 \cdot 9,8 = 29,^m6$, nach drei Secunden $10 + 3 \cdot 9,8 = 39,^m4$. Sonach ist die mittlere Geschwindigkeit der ersten Secunde das Mittel aus 10 und 19,8, also $\frac{10 + 19,8}{2} = 14,^m9$, die mittlere Geschwindigkeit der zweiten Secunde das Mittel aus 19,8 und 29,6, also $\frac{19,8 + 29,6}{2} = 24,^m7$, die mittlere Ge-

schwindigkeit der dritten Secunde $\frac{29,6 + 39,4}{2} = 34,^{m}5$. So groß, wie die mittleren Geschwindigkeiten sind aber auch die Wege in den einzelnen Secunden und die ganzen durchlaufenen Wege müssen sich daraus durch einfaches Zusammenzählen ergeben. Wir finden für zwei Secunden den Weg $14,9 + 24,7 = 39,^{m}6$, für drei Secunden $39,6 + 34,5 = 74,^{m}1$, was mit den oben auf andere Weise gefundenen Zahlen vollkommen übereinstimmt.

Soviel die Schwerkraft die Geschwindigkeit eines abwärts geworfenen Körpers vergrößert, soviel muß sie die eines senkrecht nach oben geworfenen verkleinern. Könnten wir einem Körper eine aufwärts gerichtete Geschwindigkeit von $29,^{m}4$ ertheilen, so würde derselbe nach einer Secunde nur noch $29,4—9,8 = 19,^{m}6$, nach zwei Secunden nur noch $19,6—9,8 = 9,^{m}8$ Geschwindigkeit besitzen und am Ende der dritten Secunde wäre seine Geschwindigkeit vollkommen aufgezehrt, von diesem Augenblicke bewegt sich der Körper nicht mehr aufwärts, sondern beginnt wieder abwärts zu fallen, in diesem Augenblicke befindet sich also der Körper an dem höchsten Punkte, den er überhaupt erreicht. Da also die Geschwindigkeit eines aufwärts geworfenen Körpers in jeder Secunde um $9,^{m}8$ abnimmt, so braucht man nur zu sehen, wie oft 9,8 in der Anfangsgeschwindigkeit enthalten ist, um die Zeit zu finden, nach welcher der Körper aufhört zu steigen, oder mit anderen Worten: man findet die Zeit, nach welcher ein senkrecht aufgeworfener Körper den höchsten Punkt erreicht, wenn man die Wurfgeschwindigkeit dividirt durch die Beschleunigung der Schwere. Danach findet man die Steigzeit für eine Wurfgeschwindigkeit von 98^{m} zu $\frac{98}{9,8} = 10$ Secunden, für eine Wurfgeschwindigkeit von $12,^{m}25$ zu $\frac{12,25}{9,8} = 1,25$ Secunden. Sobald man aber weiß, wie lange der Körper aufsteigt, so läßt sich auch berechnen, welche Höhe er erreicht. Bei einem nach unten geworfenen Körper vergrößert die Schwerkraft den Weg, welchen der Körper infolge der Wurfgeschwindigkeit allein durchlaufen würde, bei einem senkrecht nach oben geworfenen Körper verkleinert sie ihn. Bei einer Wurfgeschwindigkeit von $29,^{m}4$ $(= 3 \cdot 9,8)$, bei welcher also der höchste Punkt nach 3 Secunden erreicht wird, würde der Körper in dieser Zeit $3 \cdot 29,4 = 88,^{m}2$ hoch gehen, wenn die Schwerkraft nicht wäre. Die Schwerkraft bringt aber in 3 Secunden einen Körper um $\frac{3 \cdot 3 \cdot 9,8}{2} = 44,^{m}1$ abwärts, folglich ist die wirklich erreichte Höhe nur $88,2—44,1 = 44,^{m}1$.

Auf solche Weise kann man für eine Reihe von Wurfgeschwindigkeiten die entsprechenden Wurfhöhen berechnen. Die folgende kleine Tabelle giebt eine Anzahl solcher zusammengehöriger Zahlenwerthe und in der Spalte 5 auch noch eine einfachere Art, diese Höhen zu berechnen.

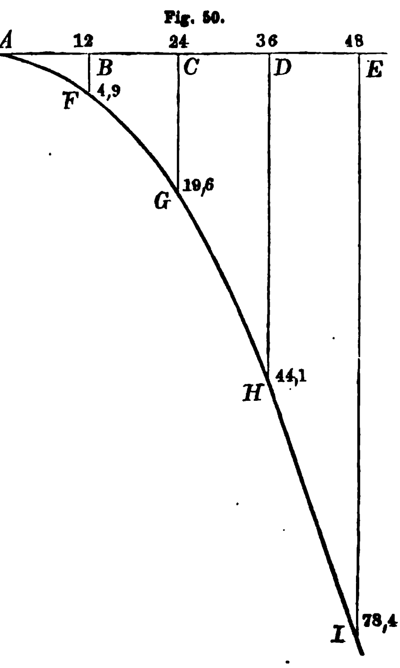
1. Wurfgeschwindigkeit.	2. Zeit, nach der der Körper den höchsten Punkt erreicht.	3. Höhe, welche der Körper in dieser Zeit ohne den Einfluß der Schwere erreichen würde.	4. Höhe, um welche ihn die Schwere in dieser Zeit abwärts bewegen würde.	5. Höhe, welche der Körper wirklich erreicht.
$9,^{m}8$	$\frac{9,8}{9,8}=1^{s}$	$1 \cdot 9,8 = 9,^{m}8$	$4,^{m}9$ . . .	$9,8 - 4,9 = 4,^{m}9 = \frac{9,8 \cdot 9,8}{19,6}$
$19,^{m}6$	$\frac{19,6}{9,8}=2^{s}$	$2 \cdot 19,6 = 39,^{m}2$	$19,^{m}6$ . . .	$39,2 - 19,6 = 19,^{m}6 = \frac{19,6 \cdot 19,6}{19,6}$
$29,^{m}4$	$\frac{29,4}{9,8}=3^{s}$	$3 \cdot 29,4 = 88,^{m}2$	$44,^{m}1$ . . .	$88,2 - 44,1 = 44,^{m}1 = \frac{29,4 \cdot 29,4}{19,6}$
$39,^{m}2$	$\frac{39,2}{9,8}=4^{s}$	$4 \cdot 39,2 = 156,^{m}8$	$78,^{m}4$ . . .	$156,8 - 78,4 = 78,^{m}4 = \frac{39,2 \cdot 39,2}{19,6}$
$49,^{m}0$	$\frac{49,0}{9,8}=5^{s}$	$5 \cdot 49,0 = 245,^{m}0$	$122,^{m}5$ . . .	$245,0 - 122,5 = 122,^{m}5 = \frac{49,0 \cdot 49,0}{19,6}$
$58,^{m}8$	$\frac{58,8}{9,8}=6^{s}$	$6 \cdot 58,8 = 352,^{m}8$	$176,^{m}4$ . . .	$352,8 - 176,4 = 176,^{m}4 = \frac{58,8 \cdot 58,8}{19,6}$

Aus der 5. Spalte ist ersichtlich, daß man die Wurfhöhe findet, wenn man die Wurfgeschwindigkeit mit sich selbst multiplicirt und das erhaltene Quadrat durch die doppelte Beschleunigung der Schwerkraft ($2 \cdot 9,8 = 19,6$) dividirt. Die Richtigkeit dieser Regel ist leicht einzusehen. Man muß die Wurfgeschwindigkeit durch die Beschleunigung dividiren, um die Zeit zu finden, während welcher der Körper aufsteigt und diese Zeit muß man wieder mit der Wurfgeschwindigkeit multipliciren, um die Höhe zu finden, welche der Körper ohne den Einfluß der Schwere in dieser Zeit erreichen würde. Anstatt aber die Geschwindigkeit erst durch die Beschleunigung zu dividiren und dann den Quotienten mit der Geschwindigkeit zu multipliciren, kann man gleich die Geschwindigkeit mit sich selbst multipliciren und das Quadrat durch die Beschleunigung dividiren. Die so berechnete Höhe ist aber, wie aus der Vergleichung der Spalten 3, 4 und 5 hervorgeht, immer doppelt so groß, als die Höhe, welche der Körper wirklich erreicht, man muß dieselbe also noch durch 2 dividiren oder, was damit auf eines hinausläuft, man dividirt gleich das Quadrat der Geschwindigkeit durch die doppelte Beschleunigung. Vergleicht man die Tabelle mit den beiden kleinen Tabellen am Ende des vorigen Paragraphen, so stellen sich weitere, einfache Beziehungen heraus. Ein freifallender Körper durchläuft beispielsweise in 6 Secunden einen Weg von $176,^{m}4$ und erlangt dabei eine Geschwindigkeit von $58,^{m}8$ und umgekehrt steigt ein mit $58,^{m}8$ Geschwindigkeit geworfener Körper 6 Secunden lang auf und erreicht dabei eine Höhe von $176,^{m}4$. Aehnlich in allen anderen Fällen. Immer ist die Geschwindigkeit, welche ein Körper beim Durchfallen einer gewissen Höhe erlangt, gleich der Geschwindigkeit, die man ihm mittheilen muß, um ihn auf diese Höhe hinaufzuwerfen und da ein aufwärts geworfener Körper im obersten Punkte einer Bahn einen Augenblick in Ruhe ist und von da an wieder frei nach unten fällt, so muß er, wenn er wieder in seinem Ausgangspunkte ankommt, dieselbe Geschwindigkeit haben, wie in dem Augenblicke, in dem er ihn verließ. Ebenso ist auch die Zeit, die der Körper braucht, um den höchsten Punkt seiner Bahn zu erreichen, gleich

der, welche von da an verfließt, bis er wieder im Ausgangspunkte ankommt.

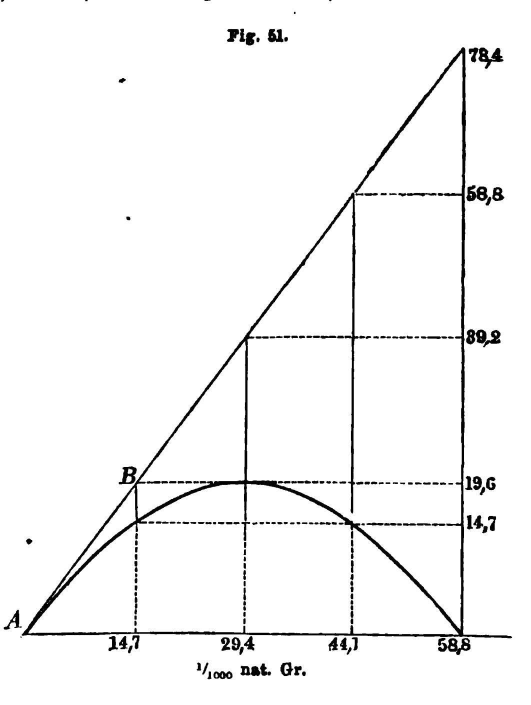
Die Gesetze, welche für die Bewegung senkrecht nach unten oder nach oben geworfener Körper gelten, behalten ihre Gültigkeit im Grunde auch für seitlich geworfene Körper, die Wurfrichtung mag wagrecht oder schräg nach unten oder nach oben gerichtet sein. Der Weg eines seitlich geworfenen Körpers ist aber keine gerade Linie, sondern ein eigenthümlich gekrümmter Bogen, welcher **Wurflinie** oder **Parabel** heißt. Ein wagrecht fortgeworfener Körper würde, wenn keine Schwerkraft vorhanden wäre, in wagrechter Richtung mit unveränderter Geschwindigkeit fortgehen, also in gleichen Zeiten gleiche Wege durchlaufen, die Schwerkraft hindert diese seitliche Bewegung nicht, zieht aber während derselben den Körper immer schneller nach unten. Fig. 50 stellt in ein Tausendstel der natürlichen Größe den Weg dar, welchen ein mit einer Geschwindigkeit von 12^m horizontal fortgeworfener Körper beschreibt.

Fig. 50.



Infolge der ihm ertheilten Wurfgeschwindigkeit bewegt sich derselbe in 1, 2, 3, 4 Secunden um 12, 24, 36, 48^m nach der Seite, er würde also in diesen Zeitabschnitten von A nach B, C, D, E gelangen. Zugleich zieht ihn aber die Schwerkraft nach unten und zwar in den angenommenen Zeiten um $4,^m9$, $19,^m6$, $44,^m1$, $78,^m4$; so daß der Körper in Wirklichkeit nach F anstatt nach B, nach G, H und I anstatt nach C, D und E gelangt. Fig. 51 giebt in demselben Maßstabe, wie die vorige Figur, den Weg eines Körpers, welcher mit einer Geschwindigkeit von $24,^m5$ in der Richtung A B auf-

Fig. 51.



$^1/_{1000}$ nat. Gr.

wärts geworfen wird[12]. Eine Bewegung um $24{,}^{m}5$ in dieser Richtung besteht aus einer Erhebung um $19{,}^{m}6$ und aus einer seitlichen Verschiebung um $14{,}^{m}7$. Auf die seitliche Fortbewegung hat die Schwere keinen Einfluß, der Körper geht wirklich in jeder Secunde $14{,}^{m}7$ nach der Seite fort. Die Höhen aber, welche der Körper infolge der Wurfkraft allein in 1, 2, 3, 4 Secunden erreichen würde, werden um soviel verkleinert, als die Schwere den Körper in den entsprechenden Zeiten abwärts bringt, seine Höhe ist deshalb

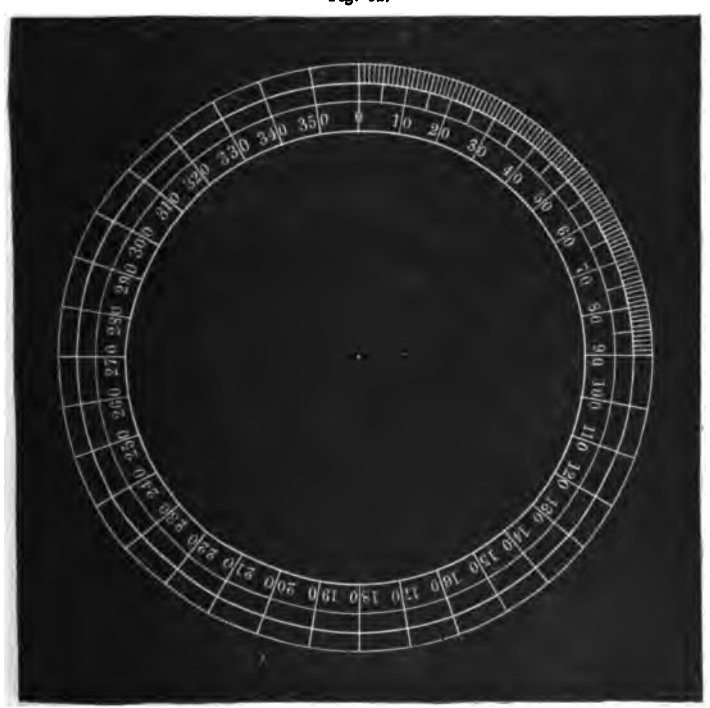
nach 1 Secunde: $(1 \cdot 19{,}6 = 19{,}6) - 4{,}9 = 14{,}^{m}7$
nach 2 Secunden: $(2 \cdot 19{,}6 = 39{,}2) - 19{,}6 = 19{,}^{m}6$
nach 3 Secunden: $(3 \cdot 19{,}6 = 58{,}8) - 44{,}1 = 14{,}^{m}7$
nach 4 Secunden: $(4 \cdot 19{,}6 = 78{,}4) - 78{,}4 = 0{,}^{m}0$.

Eine genauere Betrachtung der Wurfbewegung würde schwierigere Rechnungen erfordern, als wir sie hier anstellen können.

---

[12] Diese Richtung bildet einen Winkel von 53,13 Grad (53,°13) mit der Wagrechten. Man theilt den ganzen Raum einer Ebene in 360 gleiche Theile, welche Grade heißen. Als Abkürzung für die Bezeichnung Grad dient ein kleiner, rechts oben

Fig. 52.



an die zugehörige Zahl gesetzter Ring. 90° ist also ein rechter Winkel, 45° die Hälfte, 30° der dritte Theil eines rechten Winkels. In Fig. 52 ist ein rechter Winkel von Grad zu Grad, der übrige Theil des Raumes von 10 zu 10 Grad getheilt. Alle spitzn Winkel liegen zwischen 0° und 90°, alle stumpfen zwischen 90° und 180°.

12. Mechanische Arbeit. Um den Bewegungszustand eines Körpers zu ändern, braucht man, wie in §. 8 erläutert wurde, einen gewissen Kraftaufwand, welcher mechanische Arbeit heißt. Im Allgemeinen ist mechanische Arbeit die Ueberwindung irgend eines Widerstandes. Es ist nun unsere Aufgabe, zu sehen, in welchen Beziehungen Kraft, Masse, Weg, Geschwindigkeit und Arbeit zu einander stehen.

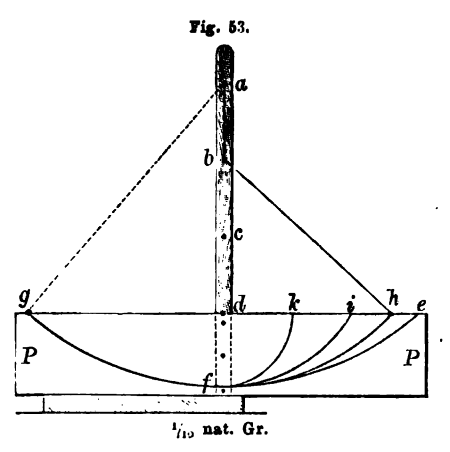
Beim Aufheben eines Körpers leisten wir eine Arbeit, wir überwinden den Widerstand, welchen seine Schwere der Hebung entgegensetzt. Diese Arbeit ist natürlich unter übrigens gleichen Umständen um so größer, je höher wir den Körper heben oder mit anderen Worten, je größer der Weg ist, auf welchem der Widerstand der Schwerkraft überwunden werden muß, und zwar ist die Arbeit dem Wege direct proportional; einen Körper 3^m hoch zu heben, erfordert dreimal soviel Arbeit, als denselben Körper 1^m hoch zu heben und eine Hebung um 15^m erfordert fünfmal so viel Arbeit, als eine um 3^m. Außer von der Größe des Weges hängt die Arbeit aber auch ab von der Größe der Kraft, welche zu überwinden ist. Eine Kugel auf der wagrechten Fläche eines Tisches fortzuwälzen, erfordert nur eine ganz geringe Arbeit, weil dabei fast kein Widerstand zu überwinden ist, einen gleich schweren Körper auf einer rauhen Fläche fortzuschieben, kostet schon mehr Arbeit, weil hier ein viel beträchtlicherer Reibungswiderstand überwunden werden muß, noch mehr Arbeit ist endlich zu leisten, wenn der Körper in die Höhe gehoben werden soll, wobei es sich um Ueberwindung des Schwerkraftwiderstandes handelt. Bewegen wir einen Körper um ein Stück fort, so ist die geleistete Arbeit sowol dem durchlaufenen Wege, als auch der auf diesem Wege überwundenen Kraft proportional oder mit anderen Worten, sie ist das Product aus diesen beiden Größen. Einen 5^{kgr} schweren Körper 3^m hoch zu heben erfordert eine $3 \cdot 5 = 15$ mal so große Arbeit, als einen 1^{kgr} schweren Körper 1^m hoch zu heben. Die zuletzt angenommene Arbeit, also die Ueberwindung eines Widerstandes von 1^{kgr} auf einem Wege von 1^m dient als Maßeinheit für die Vergleichung verschiedener Arbeiten und heißt Kilogrammeter oder Meterkilogramm. Die Arbeit, welche wir leisten, indem wir einen Körper aufheben, also seine Schwere überwinden, ist nicht etwa verloren, sondern tritt wieder zu Tage, wenn wir den Körper loslassen. Durch die Schwere wird er wieder niedergezogen und nimmt dabei eine gewisse Geschwindigkeit an. Die Arbeit, welche jetzt durch die Schwere vollbracht wird, besteht in der Ueberwindung des Beharrungsvermögens, indem der zuerst ruhende Körper in schnelle und immer schnellere Bewegung versetzt wird. In dem bewegten Körper ist dann die von der Schwere geleistete Arbeit gewissermaßen aufgespeichert, er besitzt in seiner Geschwindigkeit einen Arbeitsvorrath, welcher ihn befähigt, andere Widerstände zu überwinden. Lassen wir einen aufgehobenen Stein auf einen lose in die Erde gesteckten Pflock oder Pfahl fallen, so treibt er diesen ein Stück in die Erde hinein, der Arbeitsinhalt, mit dem der fallende Stein unten ankommt, dient, um den Widerstand der Erde gegen das Eindringen des Pflockes oder Pfahles zu überwinden.

Aus dem vorigen §. wissen wir schon, daß die Geschwindigkeit, welche ein Körper beim Herabfallen aus einer gewissen Höhe erlangt, gleich ist der Geschwindigkeit, die man ihm ertheilen muß, um ihn auf diese Höhe hinaufzuwerfen. Mit Bezug auf die mechanische Arbeit läßt sich dieser Satz auch so aussprechen: Der Arbeitsvorrath, welchen ein fallender Körper erlangt,

reicht gerade aus, ihn wieder auf seine ursprüngliche Höhe zu heben. Für freifallende Körper läßt sich dieser Satz nicht leicht durch Versuche erläutern, er gilt aber auch für Körper, welche, anstatt senkrecht zu fallen, auf einem anderen Wege von der Schwerkraft abwärts getrieben werden, wenn nur Reibung und sonstige Bewegungshindernisse dabei klein genug sind, daß man die auf ihre Ueberwindung zu verwendende Arbeit außer Acht lassen kann. Dadurch, daß man einen Körper an einem dünnen Faden aufhängt, kann man ihn zwingen, sich in einem Kreisbogen zu bewegen und diese Kreisbewegung ist zur Erläuterung des vorerwähnten Satzes sehr bequem.

An ein Retortenhaltergestell, Fig. 53, von dem man die Klemme ganz entfernt hat, befestigt man mit einigen Zwecken (am besten den sog. Copirzwecken, wie man sie beim Zeichnen verwendet) ein viereckiges Stück steifer Pappe P P von etwa 55^{cm} Länge und 11^{cm} Höhe, nachdem man in 41, 31, 21 und 11^{cm} Höhe durch den Stab des Retortenhalters mit einem dünnen Nagelbohrer wagrechte Löcher a, b, c und d gebohrt hat. In das oberste Loch steckt man einen starken Drahtstift (Drahtstifte heißen lange, blanke Nägel mit kleinen Köpfen, die aus Eisendraht verfertigt werden) von solcher Dicke, daß er etwas streng hineingeht und zwar so, daß der Kopf noch 1 bis $1,^{cm}5$ von dem Stabe absteht. Dann knüpft man einen Bleistift dicht an der Spitze an einen Faden und befestigt das andere Ende des Fadens so an dem Drahtstift, daß der Bleistift 40^{cm} von a entfernt ist und beschreibt mit dem Bleistift den Bogen e f g. Hierauf steckt man einen etwas dünneren, langen Drahtstift der Reihe nach in die Löcher b, c und d und beschreibt die Bögen f h, f i und f k, indem man den Faden, der bei a befestigt bleibt, immer an die linke Seite dieses Stiftes anlegt. Der Faden nimmt dabei der Reihe nach die Lagen a b h (in der Figur angedeutet), a c i und a d k an. Der Bleistift muß immer wagrecht und so gehalten werden, daß er mit der Fläche der Pappe einen rechten Winkel bildet. Nachdem die Bögen leicht mit Bleistift vorgezeichnet sind, kann man sie deutlicher zeichnen mit Tinte und einem feinen Pinsel, den man immer nur wenig benetzt, weil die Tinte sonst auf der Pappe breitläuft. Dann kommt an die Stelle des Bleistiftes ein kleines, aber schweres Gewicht, am besten eine mit einem Häkchen versehene Bleikugel. Ein etwa 3^{cm} langes, 1^{mm} starkes Stückchen Draht wird an einem Ende etwas umgebogen und dann mit diesem Ende in eine Kugelform gebracht, so daß das andere Ende ein wenig über die Form heraus ragt und diese voll Blei gegossen. Nach dem Erkalten schneidet man den an der Kugel sitzenden Gußzapfen mit einem Messer sorgfältig weg, indem man sich hütet den eingegossenen Draht zu beschädigen, der dann zu einem Häkchen gebogen wird. Kann man nicht während des Gießens den Draht von einer zweiten Person mit einer Pincette halten lassen, so muß man die Umbiegung am unteren Ende weiter machen, als die Eingußöffnung der Kugelform, ohne diese Vorsicht würde der Draht von dem eingegossenen Blei aus der Form herausgedrängt werden, weil Eisen (ebenso Kupfer oder Messing) auf flüssigem Blei schwimmt. Nach dem Anknüpfen des Gewichtes muß der Faden so lang sein, daß sich der Mittelpunkt der Bleikugel gerade vor dem Punkte f befindet, wenn der Faden frei herabhängt.

Fig. 53.



1/10 nat. Gr.

Bringt man an der Vorrichtung Fig. 53 die an dem Faden hängende Bleikugel nach e (der bewegliche Drahtstift ist einstweilen entfernt) und läßt

sie da los, so wird sie von der Schwere nach unten gezogen, kann aber nicht senkrecht fallen, sondern beschreibt, von dem Faden geführt, den Bogen e f. Die dabei erlangte Geschwindigkeit reicht eben hin, sie auf der anderen Seite wieder bis g aufwärts zu bringen oder genauer fast bis g, weil der Widerstand der Luft und die — wenn auch geringe — Steifigkeit des Fadens eine kleine Menge Arbeit verbrauchen. Steckt man nun den beweglichen Drahtstift durch b, legt den Faden an die linke Seite desselben an und bringt die Kugel nach h (wie in der Figur dargestellt), so beschreibt die Kugel beim Loslassen den Bogen h f. Die dabei erlangte Geschwindigkeit ist gerade so groß, wie die auf dem Wege e f erlangte, was sich daraus ergiebt, daß die Kugel auf der linken Seite wieder bis g aufsteigt. Ganz dasselbe geschieht, wenn man den Stift durch c oder d steckt und so die Kugel zwingt, die Bögen i f oder k f zu durchlaufen, immer gelangt sie links bis nach g. Umgekehrt kann man auch die Kugel mit der Hand nach g bringen und sie da loslassen. Ist der bewegliche Drahtstift entfernt, so bewegt sie sich bis e. Ist dagegen der Drahtstift bei b eingesteckt, so legt sich der Faden an diesen an, sobald die Kugel nach f gelangt ist und sie geht nun nach h, bringt man den Stift nach c oder d, so beschreibt die Kugel die Wege g f i oder g f k.

Was wir hier an verschieden gestalteten Kreisbögen beobachten können, das gilt auch in größerer Allgemeinheit von ganz beliebigen Wegen: die Geschwindigkeit, die ein Körper erlangt, der sich unter dem Einflusse der Schwerkraft bewegt, ist unabhängig von der Form seines Weges und hängt nur ab von der senkrechten Höhe des Raumes, welchen er durchläuft. Was von der Geschwindigkeit gilt, gilt aber gleicherweise von dem Arbeitsinhalte. Fällt ein Körper von 6^{kgr} Gewicht 10^m hoch herunter, so erlangt er einen Arbeitsinhalt von $6 \cdot 10 = 60$ Kilogrammetern, denn die Geschwindigkeit, welche er erlangt, reicht ja aus, um ihn selbst, also ein Gewicht von 6^{kgr} wieder 10^m hoch zu heben. Für einen bewegten Körper, welcher seine Geschwindigkeit durch die Wirkung der Schwere erhalten hat, findet man also den Arbeitsinhalt, wenn man seine senkrechte Fallhöhe multiplicirt mit der Kraft, welche ihm nach unten zieht. Diese Kraft ist in den meisten Fällen nichts anderes, als das Gewicht des Körpers, nämlich immer dann, wenn der ganze Körper der Anziehung der Schwere folgt. Bei den Versuchen an der Fallmaschine ist die Sache etwas anders. Die Rolle und die Gewichte werden nicht bewegt durch ihr ganzes Gewicht, sondern nur durch das auf der rechten Seite befindliche Uebergewicht. Beim ersten Versuche (Seite 41) haben wir links 72^{gr}, rechts 74^{gr}, also ein Uebergewicht von 2^{gr} oder $0,^{kgr}002$. Die Kraft von 2^{gr} wirkt auf einem senkrechten Wege von 2 Decimeter oder $0,^m2$; danach muß der von ihr hervorgebrachte Arbeitsinhalt $0,002 \cdot 0,2 = 0,0004$ Kilogrammeter betragen. Daß dem wirklich so ist, kann man leicht erkennen, wenn man die Bewegung beobachtet, welche noch stattfindet, nachdem die Uebergewichte auf das durchlöcherte Blech aufgeschlagen haben. Von diesem Augenblicke an, wo rechts 4^{gr} weniger wirken, ist links 2^{gr} Uebergewicht und das Gewicht rechts geht trotzdem noch fast 2 Decimeter weiter abwärts. Die in Bewegung versetzte Masse (Rad sammt Gewichten) vermag also vermöge ihres Arbeitsinhaltes ein Gewicht von $0,^{kgr}002$ beinahe $0,^m2$ hoch zu heben, das ist, eine Arbeit von fast 0,0004 Kilogrammeter zu leisten. Daß 0,0004 Kilogrammeter nicht ganz erreicht werden, hat seinen Grund darin, daß beim Aufschlagen

4^{gr} in Ruhe versetzt werden und nur der Arbeitsinhalt der übrigen, sich fortbewegenden Masse ausgenutzt wird.

Im vorigen §. haben wir gelernt, die Höhe zu berechnen, auf welche sich ein Körper vermöge einer gewissen Geschwindigkeit erheben kann. Diese Höhe nennt man die Geschwindigkeitshöhe und es war dieselbe das Quadrat der Geschwindigkeit, dividirt durch die doppelte Beschleunigung der Schwerkraft. Auf diese Geschwindigkeitshöhe vermag ein bewegter Körper sein eigenes Gewicht zu heben, d. h. er vermag eine Arbeit zu leisten, welche gleich dem Product aus seinem Gewicht und seiner Geschwindigkeitshöhe ist oder, anders ausgedrückt: man findet den Arbeitsinhalt eines bewegten Körpers, wenn man sein Gewicht multiplicirt mit dem Quadrat seiner Geschwindigkeit und das Product dividirt durch die doppelte Beschleunigung der Schwere. Hiernach würde man z. B. für den Arbeitsinhalt eines 5^{kgr} schweren Körpers, welcher eine Geschwindigkeit von 12^{m} besitzt, finden $\frac{5 \cdot 12 \cdot 12}{19,6} = 36,73$ Kilogrammeter. Um die Richtigkeit dieser Regel an unserm obigen Beispiele an der Fallmaschine zu prüfen, haben wir zweierlei zu berücksichtigen; erstens, daß die Geschwindigkeit beim ersten Fallmaschinenversuche dieselbe ist, wie bei den Versuchen in §. 10 (es ist nämlich die zu bewegende Masse beim ersten Versuche nur ein Drittel so groß, als bei jenen, aber auch die bewegende Kraft [das Uebergewicht] ist nur der dritte Theil von dem in §. 10 verwendeten, die Beschleunigung also dieselbe), zweitens, daß das mitbewegte Rad sich so verhält, wie ein Gewicht von 50^{gr}, daß also die ganze bewegte Masse zu rechnen ist, als ob sie ein Gewicht von $50 + 72 + 74 = 196^{gr}$ oder $0,^{kgr}196$ hätte. Die Geschwindigkeit nach dem Durchlaufen des Weges von 2 Decimeter ist aber beim ersten Versuch, wie in §. 10 gleich 2 Decimeter oder $0,^{m}2$, somit ergiebt sich der Arbeitsinhalt $\frac{0,196 \cdot 0,2 \cdot 0,2}{19,6} = 0,0004$ Kilogrammeter.

13. **Einfache Maschinen.** Eine in irgend einer Form gegebene Arbeit läßt sich auf die verschiedenartigste Weise in eine andere Arbeit verwandeln. Eine Nadel in ein Tuch zu stecken erfordert eine gewisse, wenn auch sehr kleine Arbeit und diese ist, wie wir wissen, das Product aus der aufgewendeten Kraft, d. i. dem Druck, den wir auf die Nadel ausüben und dem Weg, welchen die Nadel zurücklegt. Eine bei weitem größere Arbeit ist erforderlich, um einen Nagel in ein Brett oder einen Balken einzutreiben. Bei einem mittelgroßen Nagel können wir die Kraft, welche wir brauchen, um ihn in das Holz zu treiben, im Durchschnitt zu 100^{kgr} annehmen. Soll der Nagel 4^{cm} ($= 0,^{m}04$) tief eingetrieben werden, so ist die zu leistende Arbeit $100 \cdot 0,04 = 4$ Kilogrammeter. Mit der Hand unmittelbar können wir aber diese Arbeit nicht leisten, weil wir nicht im Stande sind, einen Druck von 100^{kgr} auszuüben. Wir bedienen uns deshalb eines Hammers, dem wir durch die Mukelkraft des Armes eine beträchtliche Geschwindigkeit, also einen Arbeitsvorrath ertheilen können. Führen wir unsere Schläge aus einer Entfernung von $0,^{m}25$, indem wir den Hammer mit einer Kraft von 2^{kgr} vorwärts bewegen, so wird sein Arbeitsinhalt in dem Augenblicke, in welchem er den Nagelkopf trifft, $2 \cdot 0,25 = 0,5$ Kilogrammeter sein, der Nagel hindert den Hammer am ungestörten Fortgange und zwingt ihn, seinen Arbeitsinhalt zu verwenden zur Ueberwindung des Widerstandes, welchen

die Festigkeit des Holzes dem Eindringen des Nagels entgegensetzt. Da wir bei jedem Hammerschlage eine Arbeit von 0,5 Kilogrammeter leisten, so werden 8 Hammerschläge erforderlich sein, um den Nagel bis zu der verlangten Tiefe einzuschlagen.

In ähnlicher Weise können viele Fälle vorkommen, in denen eine Arbeit verlangt wird, die wir nicht unmittelbar verrichten können. Wir bedienen uns dann gewisser Hülfsvorrichtungen, welche einfache Maschinen genannt werden und geeignet sind, eine in einer Form geleistete Arbeit in eine andere Form überzuführen. Alle diese Maschinen sind keineswegs im Stande Arbeit zu erzeugen oder zu vermehren, sie führen sogar alle einen gewissen Verlust an Arbeit herbei, weil bei ihrer Bewegung Reibungswiderstände zu überwinden sind; ihr Nutzen für uns besteht, wie gesagt nur darin, daß sie eine in unbrauchbarer Form gegebene Arbeit in brauchbare Form bringen.

Ein Beispiel einer solchen einfachen Maschine ist das sogenannte Wellrad, d. i. eine Verbindung mehrerer untereinander festverbundener, um eine gemeinschaftliche Axe drehbarer Rollen. Ein solches Wellrad mit 3 hölzernen Rollen von 6, 4 und 2^{cm} Durchmesser und mit metallner Axe läßt sich bequem in dem Gestell der Fallmaschine anbringen, siehe Fig. 54. An einem Punkte des Umfangs jeder Rolle ist ein kleiner Stift eingeschlagen, um daran einen Faden befestigen zu können, einen solchen Stift sieht man in der Figur bei a. Hängen wir an einen Faden, der um die kleinste Rolle geschlungen ist, ein Gewicht G, so kann dieses gehoben werden, wenn man an einem Faden zieht, der in entgegengesetzter Richtung um eine der größeren Rollen geschlungen ist. Natürlich wird sich von diesem mehr abwickeln, als sich von dem das Gewicht tragenden Faden aufwickelt und zwar gerade dreimal so viel, wenn der zweite Faden, wie in der Figur angedeutet, an der dreimal so großen Rolle befestigt ist. Beträgt das Gewicht G $0,^{kgr}3$ und soll es $0,^{m}1$ hoch gehoben werden, so muß eine Arbeit von $0,3 \cdot 0,1 = 0,03$ Kilogrammeter verrichtet werden. Ziehen wir an dem Faden f, von welchem dabei $0,^{m}3$ abgewickelt werden, so müssen wir eine Kraft von $\frac{0,03}{0,3} = 0,^{kgr}1$ verwenden, denn die Arbeit dieser Kraft soll gleich der bei der Hebung des Gewichtes verwendeten Arbeit sein und da die Arbeit, wie im vorigen §. besprochen wurde, das Product aus Kraft und Weg ist, so findet man umgekehrt die Kraft, wenn man die Arbeit durch den Weg dividirt (im obigen Falle also 0,03 Kilogrammeter durch $0,^{m}3$).

Fig. 54.



a. P. ½ nat. Gr.

Anstatt die zum Heben des Gewichtes G nöthige Arbeit durch Ziehen mit der Hand zu leiten, können wir sie auch durch ein sinkendes Gewicht verrichten lassen, dieses Gewicht g muß dann in unserem Falle also $0,^{kgr}1$ betragen. Im Allgemeinen müssen wir an der dreimal so großen Rolle ein Gewicht anhängen, welches ein Drittel so groß ist, als das an der kleinen

Rolle; wir können also auch an letztere von den zur Fallmaschine gehörenden Gewichten drei Stück zu 98^{gr}, an erstere ein solches Gewicht hängen. Sind die Gewichte richtig angehängt, so bleibt das Wellrad, sich selbst überlassen, in Ruhe, eine ganz geringe Kraft aber reicht aus, um es zu drehen. Diese Kraft hat nichts weiter zu thun, als den Reibungswiderstand zu überwinden, die Arbeit der Hebung des einen Gewichtes wird von dem anderen, sinkenden Gewichte geleistet.

Hängen wir an die kleinste und mittlere Rolle Gewichte, so muß an der letzteren halb soviel hängen, als an ersterer, wenn die beiden Kräfte einander im Gleichgewicht halten sollen, hängen wir Gewichte an die mittlere und größte Rolle, so müssen diese das Verhältniß 3 : 2 haben; immer müssen die Kräfte so beschaffen sein, daß bei eintretender Bewegung ihre Arbeiten gleich groß sind, wenn Gleichgewicht stattfinden soll; ist eine von beiden Kräften größer, als dieser Forderung entspricht, so überwindet sie die andere Kraft und bringt eine Bewegung hervor [13]. Dieser Satz gilt nicht für das Wellrad allein, sondern für alle einfachen Maschinen: den Hebel, die Rolle, die schiefe Ebene, den Keil, die

[13] Das Wellrad findet in vielfach verschiedener Form praktische Anwendung, so z. B. als Winde, wie sie beim Häuser- und Brunnenbau angewendet wird, Fig. 55. Anstatt der größeren Rolle, an welcher die Kraft des arbeitenden Menschen angreift,

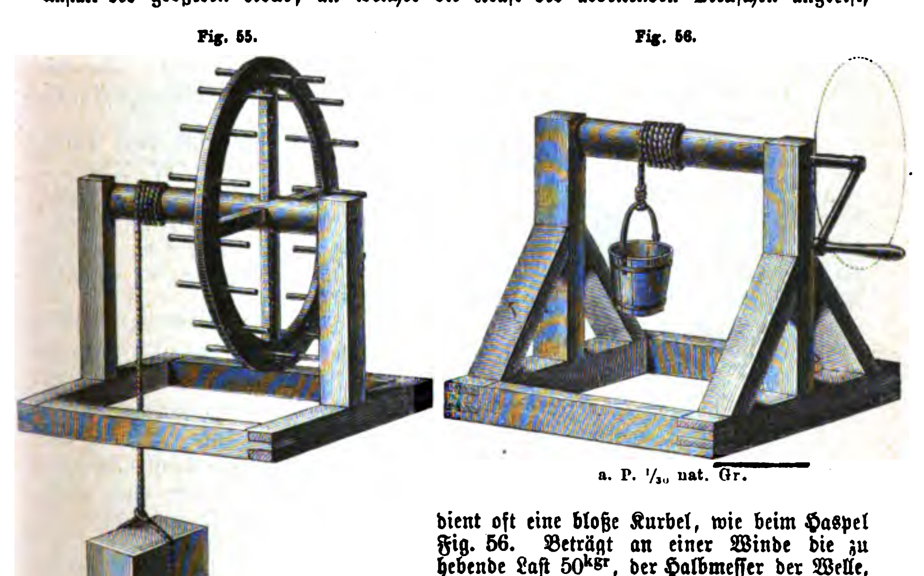


Fig. 55. a. P. 1/20 nat. Gr.

Fig. 56. a. P. 1/30 nat. Gr.

dient oft eine bloße Kurbel, wie beim Haspel Fig. 56. Beträgt an einer Winde die zu hebende Last 50^{kgr}, der Halbmesser der Welle, auf welche sich das Seil windet $0,^{m}1$, der Halbmesser des Rades, an welchem man mit der Hand arbeitet $0,^{m}75$, so ist die bei einer Hebung der Last um 1^{m} zu leistende Arbeit 50 Kilogrammeter und da die am Rade ausgeübte Arbeit ebenso groß sein muß, ein Punkt am Umfange des Rades aber einen Weg von $7,^{m}5$ zurücklegt, wenn auf die Welle ein Meter Seil aufgewunden wird, so muß die am Rade wirkende Kraft mit ihrem Wege multiplicirt auch 50 Kilogrammeter geben, oder sie muß sein $\frac{50}{7,5} = 6,^{kgr}666\ldots$

Schraube. Ein Hebel ist ein, gewöhnlich länglich geformter, um einen Punkt drehbarer Körper, welchen zwei (oder mehrere) Kräfte nach entgegengesetzten Richtungen zu drehen suchen. Zu Versuchen über das Verhältniß der Kräfte eignet sich der Fig. 57 dargestellte Hebel, ein 50^{cm} langer, vierkantiger, 2^{cm} hoher, 1^{cm} breiter Holzstab. Derselbe ist mit einer Reihe von 25 wagrecht durchgebohrten Löchern versehen, deren mittelstes von beiden Enden gleich weit entfernt ist und die je 2^{cm} voneinander abstehen.

Fig. 57.

1/10 nat. Gr.

Man läßt sich den Stab vom Tischler aus hartem Holze zurecht hobeln und bohrt die Löcher mit einem dünnen Nagelbohrer recht schön gerad durch, nachdem man sie auf einer mit Bleistift gezogenen Linie vorgezeichnet hat. Diese Linie zieht man nicht ganz in der Mitte des Hebels, sondern etwas höher, etwa 6^{mm} unter der oberen Kante, damit der unbelastete Hebel gut wagrecht schwebt. Aufhängen kann man den Hebel am einfachsten an einer dünnen Schnure, die man durch das mittelste Loch zieht und deren beide Enden man über dem Querstabe des Gestells Fig. 35 (auf Seite 31) zusammenbindet. Zum Anhängen der Gewichte dienen Gabeln mit Ringen an den Enden (Fig. 58), die man aus dünnem Draht biegt und mittelst eines durch ein Loch des Hebels gesteckten, geraden Drahtes befestigt. Die Gewichte kann man unmittelbar oder mittelst eines zwischengeknüpften Fadens an diese Gabeln hängen.

Fig. 58.



a. P. nat. Gr.

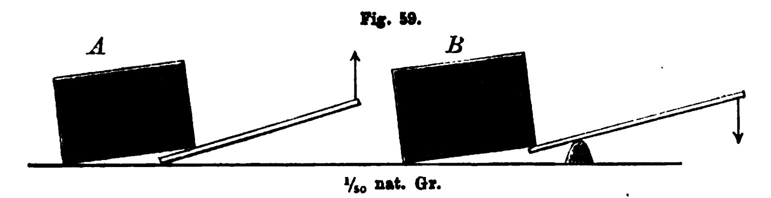
Bringen wir in 8^{cm} Abstand vom Drehpunkt des Hebels ein Gewicht von $294^{gr} = 0,^{kgr}294$ (drei 98^{gr}-Gewichte von der Fallmaschine) an und wollen dieselben im Gleichgewicht halten durch ein Gewicht auf der anderen Seite in einem Abstande von 24^{cm}, so muß dieses $\frac{294 \cdot 8}{24} = \frac{294}{3} = 98^{gr}$ betragen. Denken wir uns den Hebel um ein beliebiges Stück gedreht, so ist der Weg a b, welchen die in 24^{cm} Entfernung von der Mitte wirkende Kraft beschreibt, dreimal so groß, als der Weg c d der in 8^{cm} Abstand wirkenden Kraft, da aber die Arbeiten, d. h. die Producte aus Kraft und Weg gleich sein sollen, so muß die eine Kraft in dem Verhältnisse kleiner sein, in welchem ihr Weg größer ist. Hier ist der Weg der einen Kraft das Dreifache von dem der anderen, folglich muß die eine Kraft ein Drittel so groß sein, als die andere. Wir können den für alle Maschinen gültigen Satz auch so aussprechen: **Zwei Kräfte halten sich an einer Maschine das Gleichgewicht, wenn die erste sich zur zweiten verhält, wie der Weg, den die zweite bei eintretender Bewegung**

beschreibt, zum Wege der ersten Kraft oder kürzer: wenn sich die Kräfte umgekehrt verhalten, wie ihre Wege[14].

Die Entfernungen der Punkte, an denen die Kräfte wirken, vom Drehungspunkte des Hebels heißen die Hebelarme. Bei einem geraden Hebel mit parallelen Kräften stehen die Wege der beiden Kräfte in demselben Verhältniß wie die Hebelarme, man kann also auch sagen, daß ein solcher Hebel im Gleichgewicht ist, wenn sich die Kräfte umgekehrt verhalten, wie die Hebelarme, an denen sie angreifen. Der in Fig. 57 dargestellte Hebel gestattet, verschiedene Hebelarme zu wählen, an denen dann verschiedene Gewichte angebracht werden müssen, z. B. 70^{gr} in 14^{cm}, 98^{gr} in 10^{cm} Entfernung von der Mitte; da die Gewichte der Fallmaschine nicht zu allen Versuchen ausreichen, so muß man dann gewöhnliche Gewichte mit dünnen Fäden anknüpfen.

Die Anwendungen des Hebels sind außerordentlich mannichfaltige, im folgenden sind einige solcher Anwendungen aufgezählt; die eine Kraft ist in allen diesen Fällen die des menschlichen Armes oder der Hand, die andere, welche dadurch überwunden soll, ist in Parenthese beigesetzt: Thürklinke (Federkraft der Feder im Thürschloß), Kneipzange (Festigkeit des abzukneipenden Drahtes), Pumpenschwengel (Gewicht der Pumpenstange und des zu hebenden Wassers). Je nachdem die beiden Kräfte auf einer oder auf zwei verschiedenen Seiten des Drehungspunktes wirken, unterscheidet man einseitige und zweiseitige Hebel[15]. Das eigentlich Hebel genannte Werkzeug,

Fig. 59.



1/50 nat. Gr.

das man zum Aufheben von schweren Kisten, Steinblöcken u. dergl. benutzt, kann als einseitiger und als zweiseitiger Hebel gebraucht werden, wie in Fig. 59 A und B dargestellt ist. Die Richtung, in welcher die Menschenkraft wirkt, ist durch Pfeile angegeben, der Drehpunkt ist bei A das Ende des Hebels, bei B die Stelle, wo der Hebel auf dem untergelegten Holz aufliegt.

Eine Rolle ist eine kreisrunde, um eine in der Mitte befindliche Axe drehbare Scheibe mit einer am Rande eingedrehten rinnenartigen Vertiefung zur Aufnahme einer Schnur (Seil, Kette). Die Axe der Rolle ist in der Regel in einer sogenannten Scheere, d. i. in einem förmig gestalteten Metallstück befestigt.

Um Versuche mit Gewichten machen zu können, braucht man sorgfältig gearbeitete Rollen, die man am besten fertig kauft und sehr biegsame Schnüre, am besten cordonnirte Seide, wie zur Fallmaschine. Die Versuche mit den Rollen stellt man an dem Gestell Fig. 35 an, in dessen oberes Querholz man in passenden Entfernungen kleine Häkchen einschraubt. Als Schalen zur Aufnahme von Gewichten kann man

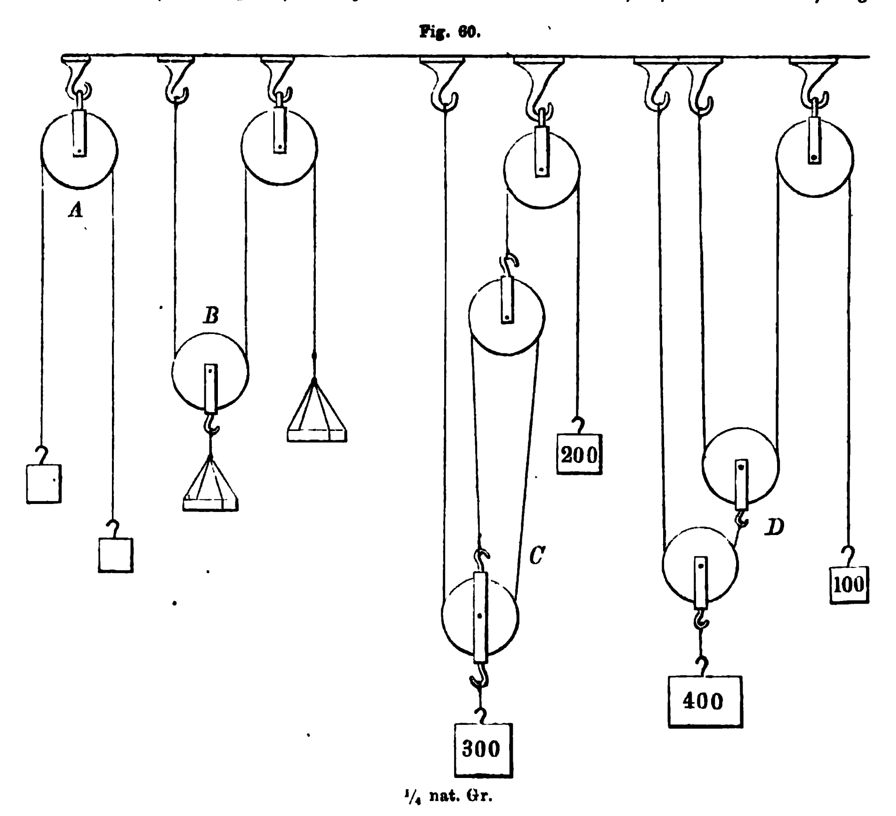
[14] Es ist dies eine etwas veränderte Form eines Satzes der Mechanik, welcher das Princip der virtuellen Geschwindigkeiten heißt.

[15] Häufig, aber weniger richtig auch „einarmig" und „zweiarmig" genannt.

zwei kleine, viereckige Kästen benutzen, die man aus dünner Pappe zusammenleimt und an den Ecken mit Fäden versieht, welche man oben zusammenknüpft.

Eine Rolle, welche, wie Fig. 60 A, und wie die Rolle der Fallmaschine, derart angebracht ist, daß sie ihre Stelle nicht verändern kann, heißt eine feste Rolle. Die beiden Kräfte, welche an den Enden der Schnure einer festen Rolle wirken, legen bei eintretender Bewegung immer gleiche Wege zurück, folglich müssen sie selbst gleich sein, wenn Gleichgewicht stattfinden soll. Die feste Rolle dient hauptsächlich, um einen abwärts gerichteten Zug in einen aufwärts gerichteten zu verwandeln oder überhaupt um die Richtung

Fig. 60.



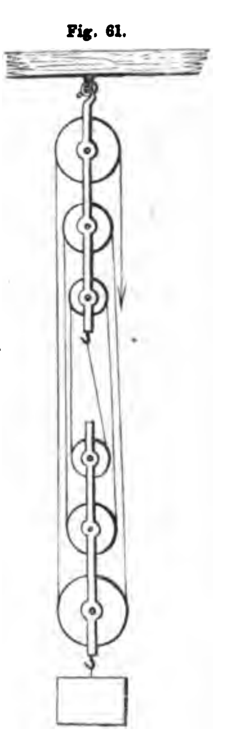
1/4 nat. Gr.

einer Kraft zu verändern. Bei einer beweglichen Rolle, Fig. 60 B, wirkt nur eine Kraft an der Schnur, die andere an der Axe der Rolle. Soll, bei paralleler Lage der beiden Schnurenden, die Rolle um ein gewisses Stück, z. B. um 10^{cm} gehoben werden, so muß die Schnure auf jeder Seite um soviel verkürzt werden, da aber das eine Ende befestigt ist, so muß das andere um zweimal soviel, also um 20^{cm} hinaufgezogen werden, der Weg der an der Schnur wirkenden Kraft ist also doppelt so groß, als der Weg der an der Rollenaxe wirkenden Kraft, damit ihre Arbeiten gleich sind, muß also erstere Kraft halb so groß sein, als letztere. Da man Gewichte immer nur abwärts wirken lassen kann, so muß man das freie Ende der Schnur von der beweglichen Rolle noch über eine feste laufen

lassen, wenn man Versuche mit Gewichten anstellen will und da hierbei das Gewicht der beweglichen Rolle selbst mit zu tragen ist, so benutzt man zwei kleine Wagschalen, in deren eine man soviel Sand oder Bleischrot schüttet, daß das Gleichgewicht hergestellt wird, bevor man die eigentlichen Gewichte anwendet.

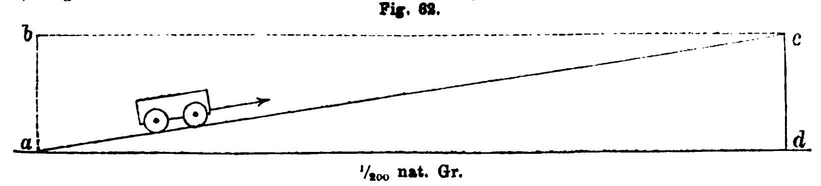
Mehrere Rollen lassen sich auf sehr verschiedene Weise verbinden, Fig. 60 giebt noch einige solche Verbindungen. Eine einfache Ueberlegung zeigt, daß der Weg der am freien Schnurende wirkenden Kraft bei C anderthalbmal, bei D viermal so groß ist, als der Weg der untersten Rolle, daß also die erste Kraft bei C $^2/_3$, bei D $^1/_4$ so groß sein muß, als die an der Rollenaxe wirkende Kraft. Fig. 61 zeigt einen gewöhnlichen Flaschenzug. Wenn derselbe wie hier 6 Rollen hat, so hängt die zu hebende Last an 6 Schnüren und da diese alle soviel kürzer werden müssen, als das untere Rollengehäuse (die sog. Flasche) gehoben werden soll, so muß das freie Schnurende ein sechsmal so großes Stück abwärts gezogen werden, die hier wirkende Kraft muß also $^1/_6$ der Last betragen.

Fig. 61.



Die schiefe Ebene dient hauptsächlich, um Lasten auf eine gewisse Höhe hinaufzubringen mittelst einer kleineren Kraft, als man brauchen würde, um sie in senkrechter Richtung zu heben. Wenn man einen Wagen auf der schiefen Ebene, Fig. 62, vom untersten Punkt a bis zum obersten Punkt c hinaufzieht, so ist die geleistete Arbeit, nämlich die Ueberwindung der Schwere des Wagens gerade so groß, als wenn er um das Stück a b oder d c senkrecht in die Höhe gehoben worden wäre, die dazu nöthige Kraft aber ist in dem Verhältniß kleiner, als das Gewicht des Wagens, indem die Länge der schiefen Ebene größer ist, als ihre Höhe. Ist das Gewicht des Wagens 200^{kgr}, die Höhe der schiefen Ebene 3^m, ihre Länge 20^m, so ist die zu leistende Arbeit $200 \cdot 3 = 600$ Kilogrammeter und folglich die nöthige Kraft $\frac{600}{20} = 30^{kgr}$. Anwendungen der schiefen Ebene sind beispielsweise die Rampen, wie man sie an Bahnhöfen, Landungsplätzen und dergl. findet, die Schrotleiter an Lastwagen und ähnliche Vorrichtungen.

Fig. 62.



$^1/_{200}$ nat. Gr.

Der schiefen Ebene sehr ähnlich ist der Keil, Fig. 63, wie man ihn beim Holzspalten verwendet. Setzt man den Keil mit der Spitze in einen Einschnitt eines Holzstücks und schlägt oder drückt auf das breite Ende, so

treibt der Keil die beiden Theile des Holzstücks auseinander. Treibt man einen 25^{cm} langen, 5^{cm} breiten Keil mit einer Kraft von 100^{kgr} seiner ganzen Länge nach ein, sodaß also die wirkende Kraft einen Weg von 25^{cm} = 0,^{m}25 zurücklegt, so ist die geleistete Arbeit 100 · 0,25 = 25 Kilogrammeter; die Theile des Holzes werden 5^{cm} = 0,^{m}05 voneinander entfernt, so groß ist also der Weg der auseinandertreibenden Kraft, folglich muß diese selbst $\frac{25}{0,05}$ = 500^{kgr} betragen. Unsere meisten schneidenden Instrumente (Messer, Meisel, Stemmeisen) haben einen keilförmigen Querschnitt und ihre Wirkung ist der des Keils ganz ähnlich.

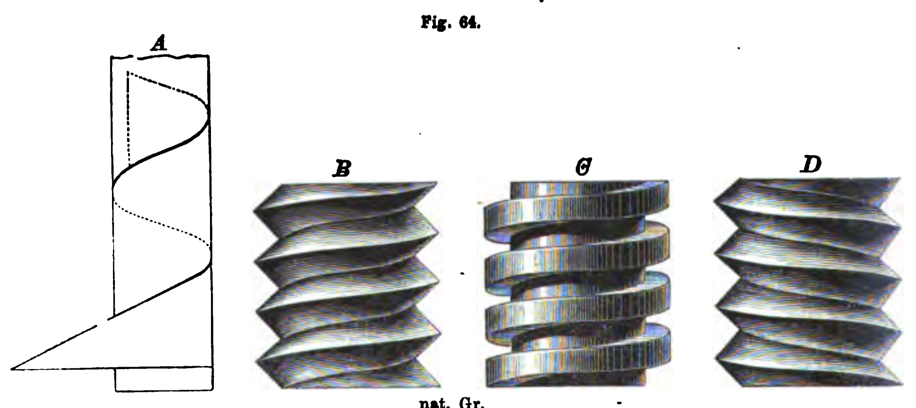
Fig. 63.



1/10 nat. Gr.

Wie der Keil, so ist auch die Schraube eigentlich nur eine besondere Form der schiefen Ebene. Eine Schraubenlinie erhält man, wenn man ein rechtwinkeliges Dreieck aus Papier um einen walzenförmigen Körper, etwa ein Probirglas herumwickelt, Fig. 64 A. Schraubenspindel heißt ein walzenförmiger Körper, um welchen eine, nach einer Schraubenlinie gewundene Hervorragung herumläuft, deren Querschnitt entweder dreieckig (scharfgängige Schr.), Fig. 64 B, oder rechteckig (flachgängige S.) Fig. 64 C, ist; Schraubenmutter ist ein Stück, welches durchbohrt und so ausgearbeitet ist, daß die Schraubenspindel genau hineinpaßt. Wird die Spindel oder die Mutter gedreht, während der andere Theil verhindert ist sich mitzudrehen, so schiebt sich die Spindel durch die Mutter oder die Mutter über die Spindel. Die meisten Schrauben sind so beschaffen, daß von den halben

Fig. 64.



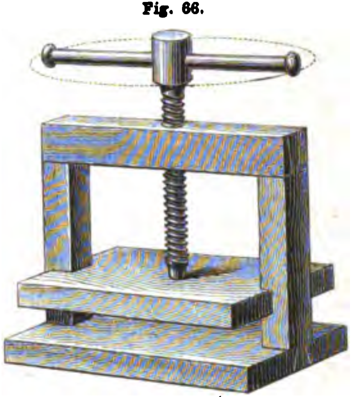
nat. Gr.

Schraubengängen, welche man sieht, wenn man die Spindel senkrecht vor sich hinstellt, immer das rechte Ende höher liegt, als das linke (Fig. 64 A B C), solche Schrauben heißen rechtsgängig, umgekehrt beschaffene (Fig. 64 D) linksgängig[16]. Linke Schrauben werden nur sehr selten, rechte außerordentlich

[16] Dreht man an einer rechtsgängigen Schraube bei feststehender Mutter die Spindel oder bei festliegender Spindel die Mutter, so entfernt sich der gedrehte Theil von der Seite, von welcher aus gesehen die Drehung in der Richtung erscheint, in der ein Uhrzeiger läuft, bei der linksgängigen Schraube nähert sich der gedrehte Theil dieser Seite.

häufig, scharfgängige häufiger als flachgängige angewendet. Die eine Kraft wirkt bei der Schraube in der Richtuug der Spindel, ihr Weg ist meist verhältnißmäßig klein; bei einer ganzen Umdrehung der Schraube findet nur eine Verschiebung um den Abstand zweier benachbarten Schraubengänge (d. i. um die Ganghöhe) statt, während die drehende Kraft einen in der Regel ziemlich großen Kreis beschreibt. Da auch hier die Kräfte sich umgekehrt verhalten, wie ihre Wege, so bewirkt eine mäßige, drehende Kraft gewöhnlich eine sehr kräftige Fortschiebung in der Richtung der Spindel [17]. Bei der Schraubenpresse, Fig. 66, ist die Ganghöhe $0^m,01$, der Abstand der Drehgriffe voneinander im Mittel $0^m,36$, folglich der Weg, den ein solcher Griff bei einer ganzen Kreisdrehung beschreibt $3,1416 \cdot 0,36 = 1^m,130976$. Dreht man an den Griffen mit einer Kraft von 5^{kgr}, so ist die bei einer Umdrehung geleistete Arbeit $5 \cdot 1,130976 = 5,65488$ Kilogrammeter und somit die Kraft, mit welcher die Spindel abwärts getrieben wird $\frac{5,65488}{0,01} = 565^{kgr},488$.

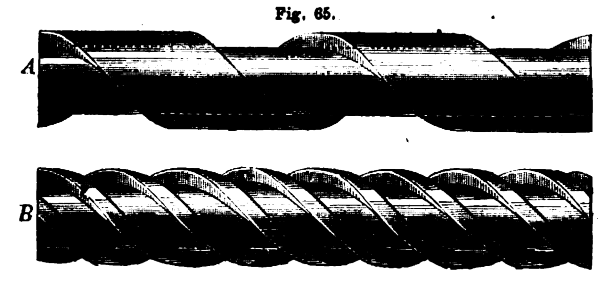
Fig. 66.



a. P. 1/10 nat. Gr.

Wie allgemein zu den verschiedenartigsten Zwecken, so im besonderen zur Herstellung physikalischer Vorrichtungen, findet die Schraube die vielfältigste Anwendung und will man sich physikalische Apparate selbst machen, so muß man durchaus die Mittel haben, Schrauben selbst herzustellen. Ganz kleine Schrauben werden mit Hülfe eines sogenannten Schneideisens, große auf einer dazu besonders eingerichteten Drehbank, mittlere mit der Schneidkluppe geschnitten und auf dieses Werkzeug soll hier allein Rücksicht genommen werden. Allerdings werden auch mittelgroße Schrauben vielfach mittelst des Schneideisens geschnitten, dieses liefert aber nie recht gute Resultate und wird in den Händen eines ungeübten Arbeiters sehr leicht ganz verdorben. Für unsere Zwecke reicht eine kleine und einfache Schneidkluppe (zu scharfgängigem, rechten Gewinde) aus, nur muß dieselbe gut sein, wenn man ordentlich und schnell damit soll arbeiten können. Die in Fig. 67 A dargestellte Kluppe besteht aus einer länglich viereckigen Eisenplatte, welche an zwei einander gegenüberliegenden Ecken mit Handgriffen versehen ist. Diese Platte ist durchbrochen, die Oeffnung derselben ist zum größten Theile ihrer Länge von beiden Seiten her abgeschrägt, wie man aus dem Durchschnitt Fig. 67 B

Fig. 65.



[17] Nur bei sehr steiler Schraube, d. h. wenn die Ganghöhe sehr groß ist im Verhältniß zur Spindeldicke, Fig. 65, wird das Verhältniß der Wege und damit auch das der Kräfte umgekehrt wie oben. Um bei steilen Schrauben die einzelnen Gänge nicht so breit, wie bei A machen zu müssen, windet man mehrere Gänge gleichzeitig um eine Spindel, B ist eine viergängige Schraube.

ersieht, welcher der punktirten Linie d d in A entspricht. In die Oeffnung der Platte werden kleine Stücke von gehärtetem Stahle eingesetzt, die in A mit 6, 6̈ und ··· bezeichnet sind. Um diese Stücke einbringen zu können, ist die Oeffnung an der einen Seite (in der Figur rechts) erweitert und hat da senkrechte Wände, anstatt der abgeschrägten. Eine Schraube S, welche durch eine Verstärkung V der Platte hindurchgeht, dient, um die Stahlstückchen festpressen zu können; der Kopf dieser Schraube ist durchbohrt, um einen Stift (Spannstift) durchstecken und mit dessen Hilfe dieselbe anziehen zu können. Unsere Kluppe dient, um dreierlei Gewinde zu schneiden, nämlich Schrauben von 6,5 und 3 bis 4^{mm} äußerem Durchmesser bei einer Ganghöhe von ohngefähr $1,^{mm}25$, $1,^{mm}0$ und $0,^{mm}9$. Sie hat deshalb 3 Paar Backen; so werden die Stahlstückchen genannt, die mit · und ·· bezeichnet sind, von denen jedes die knappe Hälfte einer Schraubenmutter bildet und welche dienen, das Gewinde auf die Spindel zu schneiden. Um die einzelnen Backen nicht zu verwechseln und sie immer in richtiger Lage in die Kluppe zu bringen, sind sie versehen mit Zahlen, welche den Durchmesser des Gewindes angeben und mit den eingeschlagenen Punkten, welche gleichen Punkten auf der Kluppe entsprechen. Jeder Backen hat in der Mitte einen viereckigen Einschnitt (eine Nuth), welcher das Gewinde durchsetzt, so daß die einzelnen Gänge da scharfe Zähne bilden, welche beim Gebrauch der Kluppe in das zu bearbeitende Metall einschneiden.

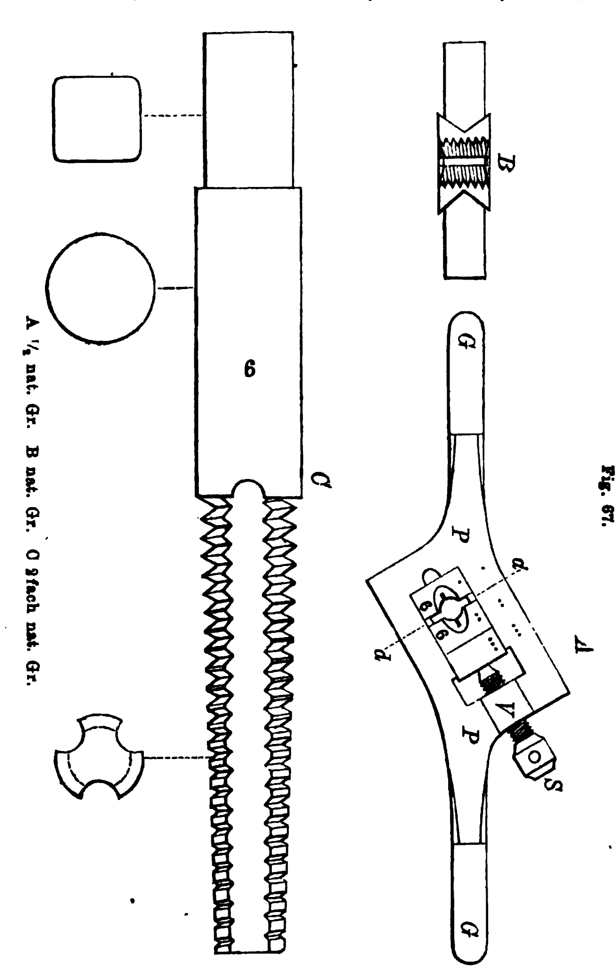


Fig. 67.

A ½ nat. Gr. B nat. Gr. C 2fach nat. Gr.

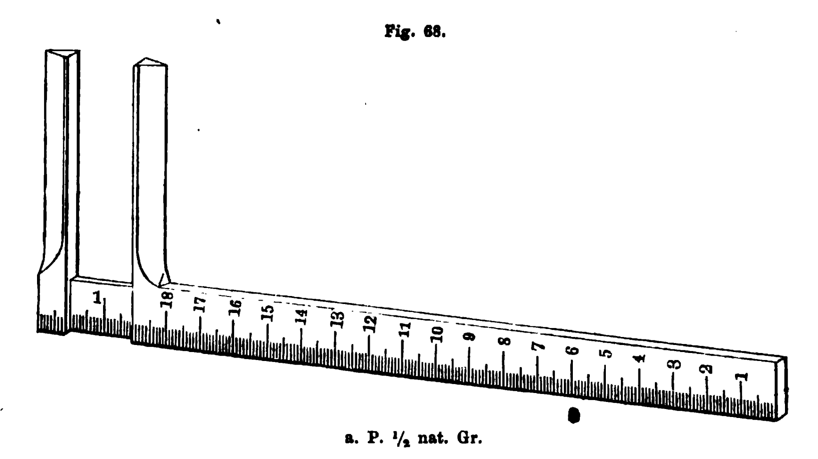
Zu jedem Paar Backen gehören mindestens zwei Gewindbohrer, das sind stählerne Schraubenspindeln, in welche ihrer Länge nach drei oder vier Rinnen eingearbeitet sind, damit auch hier die einzelnen Theile des Gewindes schneidende Zähne bilden. Fig. 67 C zeigt einen solchen Gewindebohrer in vergrößertem Maßstabe und giebt an drei Stellen den Durchschnitt desselben an. Oben ist der Bohrer mit einem vierseitigen Ansatz versehen, dann folgt bei den hier dargestellten Bohrern ein cylindrisches Stück, das aber ebenso gut auch fehlen kann, der eigentliche Bohrer selbst ist nach unten hin so abgefeilt, daß am Ende nur noch eine Spur von dem Gewinde übrig ist. Wenn man in mäßig dicke Schraubenmuttern oder Platten ein

Gewinde zu schneiden hat, so benutzt man einen Bohrer von der hier dargestellten Art, der ganz allmählich nach unten dünner wird und den man seiner ganzen Länge nach in das zu schneidende Stück hineinschraubt, einen sogenannten Durchschneidbohrer; muß man ein Schraubengewinde in ein massives Metallstück hineinschneiden, welches nicht durchgebohrt werden darf, so benutzt man Bodenbohrer, bei denen nur der unterste Theil ziemlich stark verjüngt ist, hat man nur einen solchen Bohrer, so muß man ihn sehr vorsichtig behandeln, um ihn nicht abzubrechen, besser ist es, wenn man zu jeder Schraubenstärke drei solche Bohrer hat, von denen einer immer etwas dicker ist, als der andere. Von den beiden Theilen einer Schraube schneidet man immer zuerst die Mutter. Nachdem man ein Loch von passender Weite in das zu bearbeitende Metallstück gebohrt hat (siehe weiter unten), dreht man den Bohrer mit gelindem Drücken in dieses Loch hinein. Man kann denselben allenfalls mit seinem vierkantigen Theile in einen Feilkloben spannen, d. i. ein mit der Hand zu fassendes, einem kleinen Schraubstock ähnliches Werkzeug, das man sehr vielfältig verwendet. Besser dreht man den Bohrer mittelst eines eigenen Windeisens, d. i. eines länglichen, mit 2 Griffen versehenen Eisenstückes, welches mit viereckigen Löchern versehen ist, in welche die oberen Enden der Gewindbohrer hineinpassen. Man muß darauf achten, den Bohrer nicht schief zu halten und nicht zu viel Gewalt anzuwenden, damit man ihn nicht abbricht. Sobald er zu schwer vorwärts geht, dreht man ihn wieder heraus und entfernt mit einem Drahtstückchen die entstandenen Metallspähne; sollten sich kleine Metalltheile am Bohrer festgesetzt haben, so muß man sie mit einem Messer oder einem anderen spitzen Instrument sorglich entfernen. Beim Schneiden in Eisen oder Stahl muß man den Bohrer mit etwas Oel (ordinärem Baumöl), bei Messing mit etwas Talg schmieren. In Kupfer schneiden sich schlecht Schrauben, man schmiert dabei mit Seifenwasser. Hat man Stahl zu bearbeiten, so muß er zuvor auf die unten angegebene Weise möglichst weich gemacht werden. Das Metallstück, in welches das Muttergewinde geschnitten werden soll, spannt man gewöhnlich in den Schraubstock, um es dabei nicht zu beschädigen, bringt man es zwischen Bleibacken oder Kupferbacken, das sind Stücken aus sehr dickem Bleiblech (3 bis 5^{mm}) oder mäßig dickem ($0,^{mm}5$) Kupferblech, so lang und etwa doppelt so breit, als die Backen des Schraubstockes. Man spannt zuerst einmal nur die beiden Blechstücken so in den Schraubstock, daß ihre unteren Ränder mit denen der Schraubstockbacken zusammentreffen, biegt sie dann oben auseinander und klopft sie mittelst eines hölzernen Hammers so über die Schraubstockbacken, daß sie die Form derselben ohngefähr annehmen. Kann man kein hinlänglich dickes Bleiblech haben, so gießt man sich Blei in eine Form, die aus zwei aufeinandergeleimten Stücken dicker Pappe besteht, deren oberes man viereckig ausgeschnitten hat; gewöhnlich muß man die Backen ein paar mal umgießen, weil anfangs die Pappe nicht trocken genug ist, so daß die ersten Güsse blasig ausfallen, weil das heiße Blei Wasserdampf austreibt. An den beiden Rändern des Loches, in welches man ein Gewinde schneidet, bildet sich, wie überhaupt an den Kanten von Metallstücken, die man bearbeitet, eine scharfkantige, schneidenartige Hervorragung, an welcher man sich leicht reißt, der sogenannte Grat. Der Grat wird mittelst einer Feile entfernt, dabei drückt er sich gewöhnlich etwas in das Loch hinein, man muß deshalb nachher nochmals mit dem Bohrer durch die Mutter gehen und nöthigenfalls das Feilen und Bohren ein zweites Mal wiederholen.

Die Schraubenspindel schneidet man, wenn es angeht, aus Draht, den man gleich in passender Stärke kauft, also so dick, als der entsprechende Gewindbohrer ist. Zum Messen von Drahtdicken und vielen anderen Dingen eignet sich am besten die Schublehre, Fig. 68, ein hohler, vierkantiger Maßstab von Messing, in dem sich ein zweiter, eiserner Maßstab mit einiger Reibung verschieben läßt. Jeder der beiden Maßstäbe hat an einem Ende einen rechtwinkeligen Ansatz (Schnabel). Ist die Schublehre ganz zusammengeschoben, so liegen die beiden Schnäbel dicht aneinander. Meist sind beide Schnäbel zusammen 15^{mm} breit, die Länge des zusammengeschobenen Werkzeugs ist 20^{cm}, der innere Maßstab läßt sich $13^{1}/_{3}{}^{cm}$ weit herausziehen, so daß dann die Gesammtlänge gerade $^{1}/_{3}{}^{m}$ beträgt. Gegenstände, deren Dicke gemessen werden soll, bringt man zwischen die Schnäbel, will man die Weite einer (über 15^{mm} weiten)

Oeffnung messen, so bringt man die Schnäbel in dieselbe, öffnet das Instrument, so weit es die Größe der Oeffnung gestattet und addirt die Breite der Schnäbel zu der zwischen denselben abgelesenen Anzahl von Millimetern. Der mit einem Holzhammer gerade gerichtete Draht oder das sonstige passend zurechtgefeilte Metallstück, woraus die Spindel hergestellt werden soll, wird mit seinem Ende in den Schraubstock gespannt, so daß er senkrecht steht, dann bringt man das obere Ende zwischen die Backen der Kluppe, wozu man diese gehörig voneinander entfernen muß. Durch Anziehen der Schraube S (Fig. 67 A) klemmt man nun die Kluppe mäßig fest, wobei man darauf achtet, daß die Fläche der Kluppe ordentlich rechtwinkelig gegen die zu schneidende Schraubenspindel steht. Unter mäßigem Drücken nach unten dreht man jetzt die Kluppe ein paar Mal rechts herum (wie ein Uhrzeiger läuft) und überzeugt sich, ob die zunächst nur schwache Vertiefung, welche man einschneidet, eine ordentliche Schraubenlinie bildet. Hat man die Kluppe zu wenig festgezogen, entstehen leicht bloße, in sich zurücklaufende, kreisförmige Riefen, hat man zu stark angezogen, so läuft man Gefahr die Zähne der Backen auszubrechen. Hat man eine

Fig. 68.



a. P. $1/2$ nat. Gr.

richtige Schraubenlinie bekommen, so dreht man die Kluppe weiter, bis diese Schraubenlinie so weit geht, als das Gewinde geschnitten werden soll. Ein Druck nach unten ist nur ganz im Anfang nöthig, sobald ein, wenn auch nur ganz seichtes Gewinde gebildet ist, führt sich die Kluppe von selbst weiter. Ist man so weit abwärts gekommen, als man überhaupt gehen will, so dreht man die Kluppe wieder nach oben zurück und von da wieder abwärts und so fort, indem man immer, wenn man am unteren oder oberen Ende angekommen ist, die Schraube S ein klein wenig weiter anzieht. Die meisten Spähne fallen von selbst zwischen den Backen und aus ihren Einschnitten heraus; sobald sich Spähne in den Backen festsetzen und insbesondere diese Einschnitte ausfüllen, muß man die Kluppe reinigen, indem man nöthigenfalls die Backen ganz aus derselben herausnimmt. Wenn man mit dem Anziehen der Schraube S zu schnell vorgeht, so drücken sich (zumal bei Messing, noch leichter bei Kupfer) kleine Metalltheile in die Gänge der Backen so fest ein, daß sie nur schwer zu entfernen sind, schneidet man weiter, ohne sie entfernt zu haben, so reißt man das bereits gebildete Gewinde von der Spindel herunter und verdirbt leicht auch die Backen. Beim Gebrauch der Kluppe verwendet man dieselben Schmiermittel, wie beim Gewindbohren. Das Schneiden der Spindel wird solange fortgesetzt, bis dieselbe sanft, aber ohne zu schlottern in die Mutter hineingeht, natürlich hat man vor dem Probiren aus den Gängen sowol der Spindel, als der Mutter alle Spähne und sonstige Unreinigkeiten zu entfernen. Eine gut ausgeschnittene Spindel muß glatt und sauber aussehen, ist das zur Spindel benutzte Metallstück zu dünn gewesen, so zeigt diese auf dem äußersten Theile der Gänge einen doppelten Grat.

Um die für Muttergewinde und andere Zwecke erforderlichen Löcher zu bohren, braucht man Metallbohrer, eine Bohrrolle und einen Körner. Diese Werkzeuge pflegt sich fast Jeder, der überhaupt Metall bearbeitet, selbst anzufertigen. Ein **Körner** (auch Kernspitze genannt) ist ein kantiges oder rundes Stahlstäbchen von etwa 1^{cm} Dicke und 6 bis 7^{cm} Länge, das einerseits eine kurze, runde, nicht dünne, aber möglichst scharfe Spitze hat und dient um kleine Vertiefungen in Metall zu machen, wie die zur Bezeichnung der Backen und der Kluppe angewendeten sind.

Ein Stückchen Quadratstahl (Stahl von quadratischem Querschnitt) kauft man gleich in passender Länge und Dicke. Der im Handel vorkommende Stahl muß mit Ausnahme des Stahldrahts erst **weich gemacht** werden, ehe man ihn mit der Feile bearbeitet; das geschieht, indem man ihn rothglühend macht und ihn dann recht langsam abkühlen läßt. Das Glühen geschieht am besten in Holzkohlenfeuer oder wenigstens in Kohlfeuer, Steinkohlen verderben den Stahl. Hat man nicht eine langarmige Greifzange (eine sogenannte Tiegelzange) um den Stahl damit in's und aus dem Feuer zu bringen, so umwickelt man ihn mit einem Stück Eisendraht und läßt ein langes Ende davon hervorstehen. Damit der glühende Stahl sich langsam abkühlt, legt man ihn auf eine, die Wärme schlecht leitende Unterlage, am besten auf Asche oder hängt ihn an dem Drahte auf, bis er kalt geworden ist. Feilen braucht man wenigstens mit zweierlei Hieb, nämlich **Bastardfeilen**, welche kreuzweise und **Schlichtfeilen**, welche nur einfach gehauen sind, erstere, um den Gegenständen die nöthige Form zu geben, letztere, um die dabei entsprechenden, rauhen Flächen zu glätten (schlichten). Womöglich schafft man sich jede Art Feilen doppelt an, einmal für Eisen und Stahl, einmal für Messing. Messing erfordert scharfe Feilen, nutzt sie aber wenig ab, Eisen und Stahl greifen die Feilen mehr an, lassen sich aber auch mit einer weniger scharfen Feile noch bearbeiten. Feilen von englischem Stahle sind in der Anschaffung theurer, als solche von deutschem, stellen sich aber, ihrer größeren Dauerhaftigkeit wegen, beim Gebrauche doch billiger, zumal wenn am Orte kein Feilenhauer ist, der abgenutzte Feilen wieder aufhaut. Für die kleinen Schraubstöcke Fig. 48 und 49 darf man nicht zu große und schwere Feilen benutzen, womöglich nicht über 250^{gr}.[18] Hat man die Mittel und den Raum, noch einen 12—20^{kgr} schweren, ordinären Schraubstock (4 bis 5 Thlr.) anzuschaffen und aufzustellen, so kann man Feilen von 0,5 bis 2^{kgr} benutzen, mit denen man schneller zum Ziele kommt, wenn es sich darum handelt, größere Stücke Metall wegzufeilen.

Vor allem gewöhne man sich von Anfang daran, ebene Flächen zu feilen, bei schlechtem Feilen werden dieselben immer gewölbt. Aufzudrücken braucht man die Feile nur, während man sie vorwärts stößt, da sie beim Zurückziehen doch nicht schneidet, ein Druck beim Zurückziehen stumpft die Feile unnützerweise ab. Die größeren Feilen faßt man mit der rechten Hand am Heft, mit der linken Hand (zwischen den 3. und 4. Finger und den Ballen des Daumens) an der Spitze, während der zu feilende Gegenstand im Schraubstock (nöthigenfalls zwischen Blei oder Kupferbacken) befestigt ist. Womöglich spanne man den Gegenstand so ein, daß die mit der Feile zu bildende Fläche wagrecht nach oben liegt und lasse ihn, wenn er länglich ist, nicht mehr als nöthig vorstehen, weil er sonst schreit. In die Vertiefungen der Feilen setzen sich oft Feilspähne fest, die man entfernt, indem man mit der Drahtbürste in der Richtung des Feilenhiebs kräftig bürstet. Von weichem Eisen setzen sich manchmal Spähne so fest, daß man sich die Mühe nehmen muß, sie einzeln mit einem spitzen Werkzeug (Körner, Meisel oder dergl.) herauszukratzen.

In Fig. 69 A, B, C und D sind die Formen dargestellt, die man nach und nach dem Stahlstück giebt, aus dem der Körner gemacht werden soll. Hat man die achteckige Spitze D hergestellt, so spannt man den Körner mit dem breiten Ende in den Feilkloben und klemmt im Schraubstock ein Stück hartes Holz (**Feilholz**) so ein,

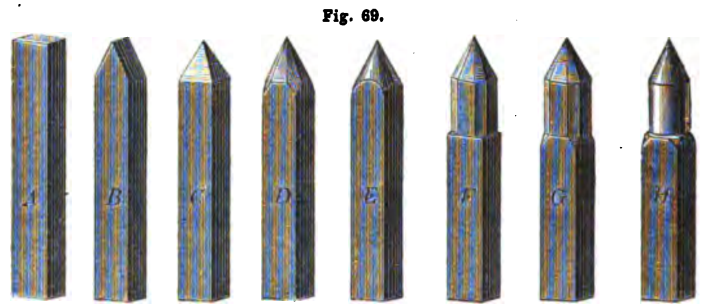
[18] Soviel wiegt etwa eine Feile, die 25^{cm} lang, 25^{mm} breit und in der Mitte 6^{mm} dick ist.

daß es seine Hirnseite[19] nach oben kehrt. In diese Hirnfläche macht man mit einer Raspel eine rinnenartige Vertiefung, etwa halb so tief, als der Körner dick ist, um ihm darin eine sichere Lage geben zu können. Indem man nun die Feile blos mit der rechten Hand führt, mit der linken den Feilkloben faßt und mit seiner Hülfe das Stahlstück auf das Feilholz aufdrückt, nimmt man zunächst die Kanten der achteckigen Spitze fort, so daß sie sechzehneckig wird und rundet sie schließlich vollkommen zu, wie Fig. 69 E.

Wenn man einen Gegenstand rund feilen will, so muß man ihn immer drehen (wälzen) und zwar der Feile entgegen; während man mit der rechten Hand die Feile vorwärts stößt, dreht man mit der linken den Feilkloben so, daß sich die obere Seite des Gegenstandes auf uns zu bewegt und umgekehrt. Diese Bewegung macht anfangs einige Schwierigkeit, bald aber erlernt man sie so, daß man sie richtig ausführt, ohne besondere Aufmerksamkeit nöthig zu haben.

Hübscher wird der Körner, wenn man ihm nach der bei D dargestellten Form, erst die Form F, dann G und schließlich H giebt, so daß er also von der Spitze aus rückwärts noch ein Stück cylindrisch ist. Zum Abrunden des achteckig gefeilten Stückes

Fig. 69.



a. P. ½ nat. Gr.

benutzt man gleich die Schlichtfeile, da man sich hüten muß, nicht mehr zu viel abzufeilen, insbesondere nicht die schon gebildete Spitze wieder mit wegzunehmen.

Nach dem Feilen muß der Körner gehärtet werden; das Härten des Stahles erfolgt, indem man ihn glühend in Wasser taucht. Bezüglich des Feuers zum Glühen ist dasselbe zu bemerken, wie beim Weichmachen; wenn es irgend möglich ist, soll man längliche Gegenstände in senkrechter Haltung in's Wasser tauchen, weil sie sich sonst leicht krumm ziehen; sind die Gegenstände über 4^{mm} dick, so bewegt man sie im Wasser hin und her, bis sie nicht mehr zischen. Werkzeuge, wie der Körner, Meisel, Bohrer u. dergl. härtet man nur an der Spitze, indem man nur den vorderen Theil glühend macht und ablöscht.

Die schwarze Schicht, mit welcher sich der Stahl beim Glühen überzieht (Glühspahn) löst sich beim Ablöschen in der Regel von selbst ab und läßt die matte, hellgraue Oberfläche des Stahles hervortreten; geht sie nicht von selbst los, so entfernt man sie mit Smirgel.

Smirgel ist das Pulver eines Minerales, des Korund, der nächst dem Diamant der härteste, überhaupt existirende Körper ist[20]. Smirgelpulver kommt im Handel in einer ganzen Anzahl von Graden verschiedener Feinheit vor, man muß wenigstens einige Sorten besitzen, die man, außer zum Glätten der Metalle auch

---

[19] Hirnseite heißt eine Fläche an einem Holzstück, welche auf der Faserrichtung rechtwinkelig steht.

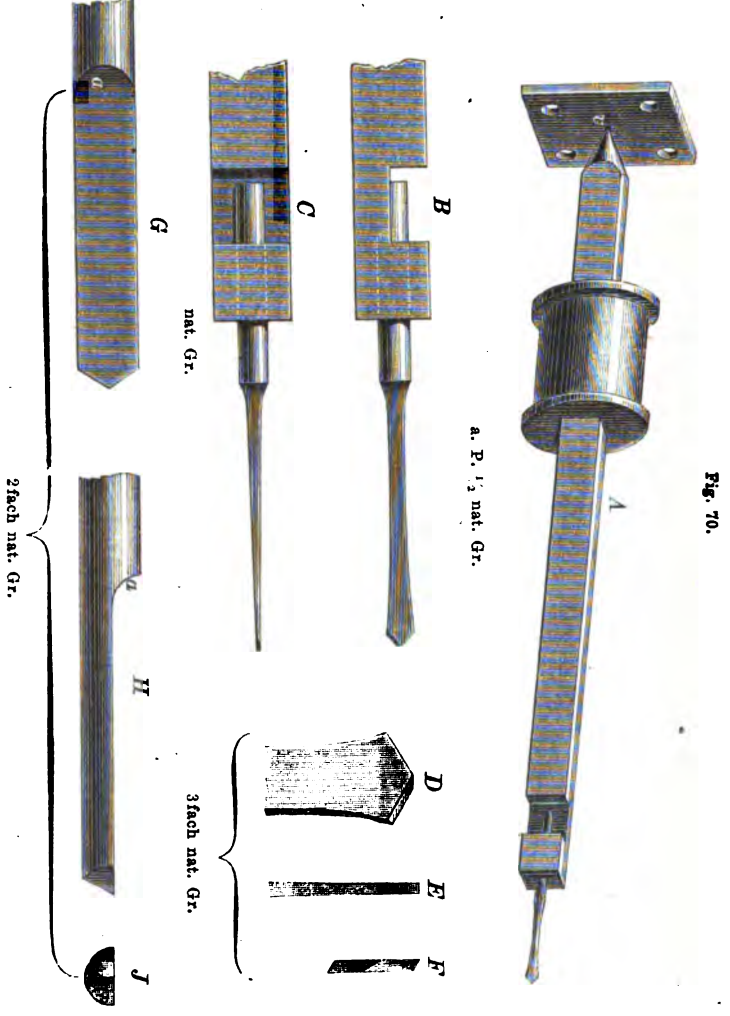
[20] Der Smirgel ist ein unreiner, undurchsichtiger Korund von brauner Farbe, die schön gefärbten, durchsichtigen Arten des Korundes sind die unter dem Namen Rubin und Sapphir geschätzten Edelsteine.

zum Glasschleifen braucht. Vielfach verwendet man auch Smirgelpapier oder Smirgelleinwand, d. i. starkes Papier oder grobe Leinwand, worauf eine dünne Smirgelschicht mit Leim befestigt ist und Smirgelhölzer, das sind vierkantige Stücke von weichem Holz, 20 bis 25^{cm} lang und etwa 20^{mm} breit und 12^{mm} dick, die ebenfalls mit Smirgel beleimt sind. Man bestreicht die Hölzer, welche man sich vom Tischler hat zurecht hobeln lassen mit einer dünnen Schicht von nicht zu dünnflüssigem Leim, bestreut sie dick mit Smirgel und schüttelt das, was nicht haftet, wieder ab. Ein 6 bis 8^{cm} langes Stück an einem Ende läßt man frei, um das Holz da mit der Hand anzufassen. Allenfalls kann man auch fertiges Smirgelpapier auf ein Stück Holz leimen; in jedem Falle darf ein Smirgelholz nicht eher benutzt werden, als bis der Leim völlig trocken ist. Beim Gebrauche handhabt man es wie eine Feile, man kann damit viel stärker aufdrücken und deshalb schneller arbeiten, als mit Smirgelpapier.

Glühend in Wasser abgelöscht wird der Stahl zunächst so hart, daß er Glas ritzt, aber auch so spröde, daß er sehr leicht zerbricht. Seine Sprödigkeit und seine Härte lassen sich dann in beliebigem Grade verringern, wenn man ihn nochmals, aber nur mäßig warm macht und abermals ablöscht. Dieses Verfahren nennt man das Anlassen des Stahles. Stahlstücken von der Größe des Körners und größere faßt man mit der Zange und führt sie unter beständigem Wenden und Drehen so lange über einer Weingeist- oder Gasflamme oder über glühenden Kohlen hin und her, bis sie die gewünschte Wärme erlangt haben, kleinere Gegenstände (Bohrer u. dergl.) erwärmt man auf einem dicken Blechstück, weil sie sonst nicht gleichmäßig warm werden. Beim Anwärmen nimmt die blanke Oberfläche des Stahles der Reihe nach verschiedene Farben (Anlauffarben) an, sie wird zuerst hellgelb, dann dunkelgelb, roth, violett, blau und zuletzt grauschwarz. Werkzeuge zur Metallbearbeitung erwärmt man, bis sie dunkelgelb sind und taucht sie dann in Wasser. Weniger stark angelassene (hellgelbe) Werkzeuge zerbrechen zu leicht, stärker angelassene (rothe) halten beim Gebrauch keine Schneide.

Bohrer fertigt man aus Stahldraht von 3 bis 4^{mm} Dicke, von dem man womöglich gleich 100 bis 200^{gr} im Vorrath kauft (ein 1 bis 2^{m} langes Stück), damit alle Bohrer an einem Ende gleich dick werden und ohne besondere Zurichtung in die Oeffnung der Bohrrolle passen, die zu ihrer Bewegung dient. Sehr bequem zur Anfertigung von Bohrern und manchen andern Zwecken ist der sogenannte Fußstahl, der aus fußlangen, gerade gerichteten Stücken besteht. Die Bohrrolle, Fig. 70 A, ist eine hölzerne, etwa 3^{cm} dicke und 3 bis 4^{cm} lange hölzerne Rolle mit Rändern an den Enden, welche auf einer eisernen Axe von 1^{cm} Dicke und 20 bis 24^{cm} Länge sitzt. Diese Axe kann man der Einfachheit wegen vierkantig lassen, wie sie als ein Stück Quadrateisen im Handel zu haben ist, zierlicher wird sie, wenn man sie achteckig feilt. Zunächst feilt man das Eisenstück an beiden Enden eben und schlägt in die Mitte jeder Endfläche eine Vertiefung mit dem Körner ein. Da man nicht sicher ist, sofort die richtige Mitte zu treffen, so giebt man zuerst nur einen leisen Schlag mit dem Hammer auf den Körner, so daß dieser nur einen feinen Punkt macht, in den man dann, wenn er an die rechte Stelle gekommen ist, den Körner vor einem zweiten, stärkeren Schlage einsetzt, der aber auch, wenn er etwas seitwärts gerathen ist, gestattet, den Körner gleich daneben aufzusetzen. Mit den beiden Körnervertiefungen giebt man die Axe zum Drechsler und läßt ein Holzstück aufkeilen und gleich darauf zur Rolle abdrehen. Dann feilt man das eine Ende des Eisenstücks zu einer runden Spitze, wie sie der Körner hat, doch braucht sie nicht ganz so scharf zu sein, diese Spitze kommt beim Gebrauch in eine Vertiefung v, welche man mittelst des Körners in ein Stück dickes Eisenblech geschlagen hat. Dieses Blech, 2 bis 3^{mm} dick und ein paar Centimeter ins Geviert, kann man vorläufig auf ein Brettchen von 2^{cm} Dicke, 8^{cm} Breite, 10^{cm} Länge befestigen durch einige Nägel, welche man am Rande des Eisenblechs so in das Brettchen schlägt, daß sie mit ihren Köpfen über das Blech übergreifen. Ein Fiedelbogen, aus spanischem Rohr von etwa 12^{mm} Dicke und 60 bis 80^{cm} Länge und einer starken Darmsaite gebildet, welche beim Gebrauch um die Rolle geschlungen wird, dient, um diese zu drehen (wie

es die Uhrmacher mit den auf dem Drehstuhle eingespannten Gegenständen thun). Die Saite zieht man durch zwei mit einem dünnen Nagelbohrer nahe an den Enden des Bogens gebohrte Löcher, schlingt sie einigemal um denselben herum und bindet sie fest. Sie muß ziemlich lose hängen, so lange sie nicht um die Rolle geschlungen ist; soll sie auf die Rolle gelegt werden, so faßt man ein Ende des Bogens mit einer Hand, stemmt das andere auf den Tisch und drückt ihn auf die Weise so stark



zusammen, daß die Schnur schlaff genug wird, um die mit der zweiten Hand gehaltene Bohrrolle hineinschlingen zu können. In das vordere Ende der Bohrrolle muß 10 bis 12^{mm} tief ein Loch gebohrt werden von solcher Weite, daß der zu den Bohrern bestimmte Draht eben hinein geht, also 3 bis 4^{mm} weit. Es geschieht dies mit einem gleich aus solchem Draht verfertigten Kanonenbohrer, wie er in Fig. 70 bei G und H in zwei verschiedenen Stellungen von der Seite, bei J von vorn gesehen dargestellt ist. Ein 5 bis 6^{cm} langes Stück des Stahldrahtes wird zunächst gerade gerichtet, indem man es in den Schraubstock und Feilkloben zugleich spannt und

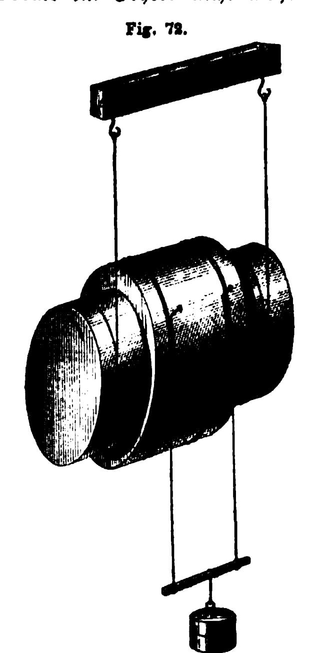
zurecht biegt oder auch allenfalls durch Zurechtklopfen mit dem Hammer, dann wird es am vorderen Ende etwa 2^{cm} lang bis auf die Hälfte weggefeilt, wie aus der Figur zu sehen ist; besser noch feilt man ein ganz klein wenig mehr als die Hälfte weg, weil sonst das Loch etwas weiter wird, als man es haben will. Die Stelle a, wo der halbrunde in den ganz runden Theil übergeht, macht man womöglich, wie auch in der Figur gezeichnet, mit der Rattenschwanzfeile rund geschweift; läßt man eine einspringende Ecke, so bildet sich da beim späteren Härten leicht ein Riß, welcher ein Brechen des Bohrers zur Folge hat. An das vordere Ende des Bohrers werden dann zwei kleine, schräge, ebene Flächen angefeilt, wie sie die Figur zeigt; diese Flächen macht man gleich anfangs mit der Schlichtfeile und zwar möglichst genau gleich; ist die eine größer, als die andere, so bohrt der Bohrer ein zu weites Loch. Um den Kanonenbohrer später zu anderen Zwecken in die Bohrrolle einsetzen zu können, feilt man am anderen Ende ein 6 bis 8^{mm} langes Stück ebenfalls bis auf die Hälfte weg, läßt aber da die Ansatzstelle rechteckig, was unbedenklich ist, da man nur den vorderen Theil härtet. Nachdem der Bohrer auf die oben angegebene Weise gehärtet und dunkelgelb angelassen ist, spannt man ihn in wagrechter Lage so in den Schraubstock, daß das vordere Ende etwa 3^{cm} heraussteht, schlingt die Schnur des Fiedelbogens um die Bohrrolle, setzt das spitze Ende derselben in die mit einem Tropfen Oel versehene Vertiefung des auf dem Brettchen befestigten Bleches, legt das Brettchen an die Brust und stemmt endlich die am breiten Ende der Bohrrolle befindliche Körnervertiefung gegen die Spitze des Bohrers[21]. Man muß darauf achten, daß die Axe der Bohrrolle mit dem Bohrer in eine gerade Linie fällt; drückt man dann mit der Brust Brettchen und Bohrrolle gegen den Bohrer und fährt mit dem in der rechten Hand geführten Bogen auf und ab, so bohrt sich der Bohrer langsam in die eiserne Axe (Bohrspindel) hinein. Wenn man Eisen (wie in diesem Falle) oder Stahl zu bohren hat, so benetzt man das Arbeitsstück mit Seifenwasser oder Baumöl; Messing bohrt man trocken. Man zieht fleißig den Bohrer aus dem Bohrloche heraus und entfernt die Bohrspähne; unterläßt man dies, so kommt man schlecht vorwärts und dreht leicht den Bohrer ab. Ein Kanonenbohrer bohrt langsam, muß aber hier angewandt werden, um die richtige Weite des Loches zu bekommen; man lasse sich die Mühe nicht verdrießen das Loch so tief, wie angegeben, zu machen, weil nur so die einzusetzenden Bohrer ordentlich fest stehen. Ist das Loch fertig, so feilt man in den vorderen Theil der Bohrspindel einen viereckigen Einschnitt (Fig. 70 A, B und C) bis auf die halbe Dicke der Bohrspindel ein und zwar so, daß er das gebohrte Loch nahe am Ende trifft. Alle Bohrer werden am Ende 6 bis 8^{mm} lang auf die Hälfte abgefeilt, so daß sie sich in die Bohrrolle derart einschieben lassen, wie Fig. 70 B und C zeigt; der halbrunde Theil legt sich mit seiner ebenen Fläche an die ebene Fläche des viereckigen Einschnittes an, so daß sich der Bohrer mit drehen muß, wenn man die Bohrrolle dreht — die zu bohrenden Gegenstände kommen dann natürlich in den Schraubstock.

Fig. 71. nat. Gr.

[21] Hat man einen Schraubstock von der Form Fig. 48, der nicht an der Ecke eines Tisches, sondern an einem Fensterbrett befestigt ist, so muß man den Bohrer erst in den Feilkloben und diesen dann in den Schraubstock spannen, damit man den Bohrer auf sich zurichten kann.

Die Form der gewöhnlichen Bohrer ist aus Fig. 70 B bis F zu ersehen, D zeigt den vorderen Theil von der breiten, E von der schmalen Seite, F von vorn. Zum größten Theil ihrer Länge müssen die Bohrer dünner sein, als die Breite der Schneide, für stärkere Bohrer klopft man den durch Ausglühen weich gemachten Draht vorn breit und läßt ihn im übrigen rund, schwächere Bohrer müssen dünn gefeilt werden. Man macht sie am bequemsten vierkantig, indem man zunächst von zwei Seiten her so viel weg nimmt, daß sie von der schmalen Seite her aussehen wie C, dann höhlt man die beiden schmalen Seiten so weit aus, daß die Form B entsteht. Die Schneide des Bohrers wird gebildet durch zwei schiefe Flächen, die man mit einer kleinen, recht feinen Schlichtfeile ansetzt. Hält man den Bohrer mit der Schneide nach oben so vor sich, daß man auf die breite Seite sieht (D), so muß die Schneidfläche rechts nach der zugewendeten, die links nach der abgewendeten Seite abfallen, hat man die schmale Seite des Bohrers vor sich (E), so muß die Fläche, welche man sieht, nach links geneigt sein. Die langen, schmalen Flächen, welche von der Schneide des Rohres nach dem dicken Theile laufen, können gerade sein, besser noch ist es, sie ganz wenig schräg zu legen, wie aus D und F zu ersehen. Nachdem ein Bohrer gehärtet und angelassen ist, kann man ihn auf einem Oelstein (ein mit Oel befeuchteter Wetzstein) etwas abziehen; dabei achte man darauf, die einzelnen Flächen nacheinander, aber jede flach aufzusetzen und den Bohrer mit unveränderter Haltung hin und her zu führen, damit man die schneidenden Kanten nicht abstumpft. Sobald ein Bohrer nicht mehr gut schneidet, mache man ihn wieder weich und richte ihn neu vor, man verliert dabei weniger Zeit, als wenn man sich mit einem stumpfen Bohrer abquält.

Fig. 72.



½ nat. Gr.

Die Löcher für die Schraubengewinde, welche man schneiden will, bohrt man immer etwas zu eng und erweitert sie dann, bis der Schneidbohrer eben ein wenig hineingeht. Das Aufweiten gebohrter Löcher geschieht mittelst der Reibahle, Fig. 71. Eine Reibahle ist ein gewöhnlich fünfkantiges, nach vorn dünn zulaufendes Stahlstück, das mittelst eines Holzheftes vorsichtig in das betreffende Loch hineingedreht wird. Solcher Reibahlen muß man einige haben, um Löcher von 2 bis 7^{mm} ausreiben zu können; sie dienen übrigens nicht nur zum Aufweiten, sondern auch um die Löcher ordentlich rund und glatt zu machen.

Von den zahlreichen Vorrichtungen, die mit den oben besprochenen einfachen Maschinen mehr oder weniger Aehnlichkeit haben, sollen hier nur noch zwei erwähnt werden. Fig. 72 zeigt eine kleine Walze, deren mittlerer Theil etwas dicker ist, als die Enden. Zwei Fäden sind an den Endstücken der Walze befestigt, einigemal um diese geschlungen und oben an kleine Häkchen angeknüpft, die an dem Gestell Fig. 35 angebracht sind. Zwei andere, am dickeren Theile der Walze befestigte Fäden sind um die Walze in entgegengesetzter Richtung, wie die beiden ersten Fäden herumgewunden, ihre Enden sind durch ein Querstäbchen von Holz verbunden. Ueberläßt man die Walze sich selbst, so geht sie infolge der Schwere nach unten, indem sich die äußeren Fäden abwickeln. Zugleich aber müssen sich die mittleren Fäden aufwickeln und wegen des größeren Durchmessers des mittleren Theiles wird von den mittleren Fäden ein längeres Stück auf-, als von den äußeren abgewickelt, das Querstäbchen wird also in die Höhe gehen. In der Figur verhalten sich die Durchmesser an den Enden und in

der Mitte wie 4 zu 5, die Umfänge der Walze sind etwa 6^{cm} und $7^{cm},5$, wenn sich die Walze einmal in der Richtung des Pfeiles umdreht, so werden von den äußeren Fäden je 6^{cm} ab-, von den inneren je $7^{cm},5$ aufgewickelt, das Querstäbchen wird sich also um $7,5 - 6 = 1^{cm},5$ aufwärts bewegen, d. i. um ein Viertel so viel, als die Walze abwärts geht. Durch eine an dem Querstäbchen abwärts wirkende Kraft von passender Größe kann man das Aufwärtsgehen derselben und somit auch das Niedergehen der Walze verhindern, durch eine noch größere Kraft sogar das Stäbchen niederziehen und dadurch die Walze aufwärts bewegen. Wie groß die Kraft sein muß, um die Vorrichtung im Gleichgewicht zu halten, ergiebt sich leicht aus dem Verhältniß der Wege und dem früher gesagten über die Gleichheit der Arbeiten; soviel mal so groß der Weg der Walze ist, als der Weg des Stäbchens, soviel mal so groß muß die an diesem wirkende Kraft sein, als die Kraft, welche die Walze abwärts treibt, d. i. das Gewicht derselben. Wiegt die Walze 10^{gr}, so muß bei dem angenommenen Durchmesserverhältniß das Gewicht am Querstäbchen 40^{gr} betragen, wenn Gleichgewicht sein soll.

Die Walze kann aus Holz gedreht sein, einfacher ist es, dieselbe hohl aus Papier herzustellen. Ein 5 bis 10^{cm} breiter, etwa $0^{m},5$ langer Streifen von steifem Papier (starkes Zeichenpapier) wird um irgend einen runden Körper (ein Probirglas oder einen Retortenhalterstab) gewickelt und zusammengeleimt. Es ist nicht nöthig, den Papierstreif seiner ganzen Länge nach mit Leim zu bestreichen, vielmehr reicht es aus, wenn nur die Enden ordentlich festgeklebt sind. Ein zweiter Streif, etwa halb so breit, als der erste, wird alsdann auf die aus dem ersten gebildete Walze auf und um dieselbe herumgeklebt. Je nach der Stärke des benutzten Papieres wird der zweite Streif etwa $0^{m},8$ bis 2^{m} lang sein müssen, um die gehörige Dicke der Walze zu geben. Die Fäden befestigt man entweder an Stecknadeln, die bis fast an den Knopf eingesteckt sind, oder man zieht dieselben durch in die Walze gestochene Löcher und versieht sie innen mit Knoten.

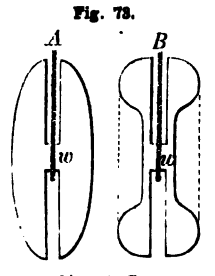


Fig. 73.
1/3 nat. Gr.

Fig. 73 zeigt zwei Durchschnitte des unter dem Namen Joujou früher sehr gebräuchlichen Spielzeuges. Eine ziemlich dünne und ganz kurze Walze w trägt an beiden Enden größere Scheiben von Holz. (Man findet dieselben meist in der Mitte dicker als am Rande, wie A, besser ist das umgekehrte, in B dargestellte Verhältniß.) Durch die Walze ist ein feines Loch gebohrt, um eine dünne etwa 1^{m} lange Schnur durchziehen zu können, die mittelst eines Knotens befestigt wird. Wickelt man die Schnur um die Walze, also zwischen die beiden Scheiben hinein, hält dann das Ende derselben in der Hand fest und läßt das Joujou los, so wird dasselbe durch die Schwere nach unten gezogen, muß aber dabei die Schnur von sich abwickeln und geräth also in drehende Bewegung, die immer schneller wird, bis die ganze Schnur abgewickelt ist. Die Vorrichtung steigt viel langsamer abwärts, als ein freifallender Körper, weil der größte Theil der von der Schwerkraft geleisteten Arbeit verwendet wird, um die Drehungsbewegung zu erzeugen. In Form dieser Drehung ist die Arbeit gewissermaßen aufgespeichert, sie wird dann wieder ausgegeben, indem das Joujou, dem Beharrungsvermögen folgend, sich fortdreht und dabei den Faden (in umgekehrter Lage, wie vorher) wieder aufwickelt, wobei es sich selbst wieder in die Höhe hebt. Ginge nicht auf mehrerlei Weise, insbesondere durch die Reibung der Schnur an den Scheibenwänden, Arbeit verloren, so müßte das Joujou wieder so hoch

aufsteigen, als es herabgekommen ist; durch einen Ruck an der Schnure kann man diesen Arbeitsverlust ersetzen und bewirken, daß die ganze Schnur wieder aufgewickelt wird, worauf das Spiel von neuem beginnt. Den Ruck nach oben muß man in dem Augenblick geben, in dem das Joujou unten ankommt, mit ganz geringer Uebung gelangt man leicht dahin, das Spiel beliebig oft zu wiederholen.

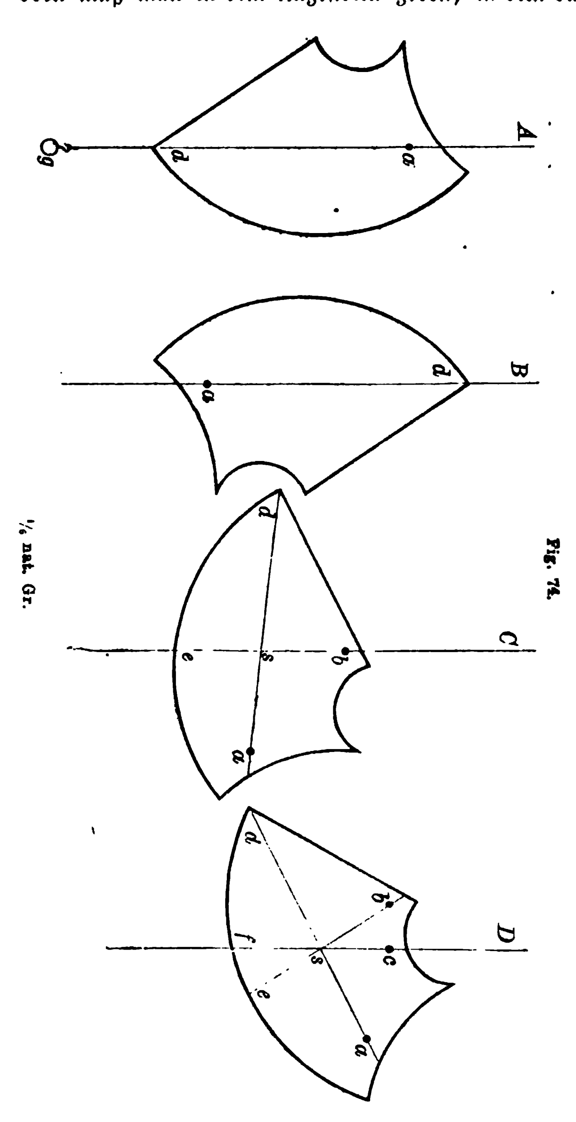


Fig. 74. ⅙ nat. Gr.

Jeder Drechsler fertigt die kleine Vorrichtung, wenn er sie nicht vorräthig hat, um wenig Geld.

14. Schwerpunkt, Gleichgewicht, Waage. Aus einem 20 bis 30^{cm} großen Stück starker Pappe schneide man eine beliebige, unregelmäßige Figur, etwa so, wie sie in Fig. 74 gezeichnet ist. An einer Stelle nahe am Rande, z. B. bei a steche man mit einer Pfrieme ein Loch hindurch und ziehe durch dasselbe einen dünnen Faden, von dessen beiden Enden jedes zu einer Schleife geknüpft ist. Beide Schleifen hängt man zusammen auf einen Haken des Gestells Fig. 35, so daß das Pappstück frei an dem doppelten Faden schwebt; nach kurzer Zeit wird dann das Pappstück in einer bestimmten Stellung zur Ruhe, in's Gleichgewicht, kommen, die in Fig. 74 dargestellte Form in der bei A gezeichneten Stellung. Bringt man das Pappstück in eine andere Lage, so kehrt es immer von selbst wieder in die zuerst angenommene Lage zurück, nur eine einzige Stellung giebt es noch, in welcher das Pappstück ruhig verharren kann, das ist die bei B gezeichnete, der ersten also gerade entgegengesetzte. Die zweite Gleichgewichtslage ist aber keineswegs so sicher, als die erste, die geringste Schwankung bewirkt ein Umschlagen und Zurückgehen in die erste Stellung.

Um zu erkennen, daß die zweite Lage der ersten genau entgegengesetzt ist, zieht man durch das nämliche Loch a noch einen zweiten Faden, dessen beide herabhängende Enden ebenfalls Schleifen bilden und gemeinschaftlich an den Haken eines kleinen Gewichtes g gehängt werden (etwa ein Gewicht wie das an der Vorrichtung Fig. 53). Dieser zweite Doppelfaden giebt dann, sobald die Vorrichtung im Gleichgewicht ist, die verlängerte Richtung des Aufhängefadens oder mit anderen Worten, die senkrechte Linie durch den Aufhängungspunkt an. Faßt man die Pappe sammt dem vorderen und hinteren Theile des herabhängenden Fadens bei d zwischen Daumen und Zeigfinger der linken Hand, so kann man längs des Fadens eine Linie ziehen und so seine Richtung dauernd anmerken; in der zweiten Gleichgewichtslage muß dann diese Linie genau von dem Aufhängefaden gedeckt werden.

Die zuerst besprochene Lage, welche ein beweglich aufgehängter Körper von selbst annimmt, heißt die des sicheren oder stabilen Gleichgewichtes, die entgegengesetzte, in die er künstlich gebracht werden muß und die er beim geringsten Anlaß verläßt, um sie mit der ersten zu vertauschen, heißt die Lage des schwankenden oder labilen Gleichgewichtes. Wählen wir einen anderen Aufhängungspunkt b (der nicht in der Senkrechten a d durch den ersten Aufhängungspunkt liegen darf), so bekommen wir auch eine neue Lage des stabilen Gleichgewichtes, nämlich die bei C dargestellte; für einen dritten Aufhängungspunkt c erhalten wir die stabile Gleichgewichtslage D. Geben wir uns jedesmal die senkrechte Linie durch den Aufhängungspunkt an, also im ersten Falle die Linie a d, im zweiten b e, im dritten c f, so erkennen wir, daß diese Linien einen Punkt s gemeinschaftlich haben oder mit anderen Worten, daß alle drei Linien sich in s schneiden. Würden wir noch mehr andere Aufhängungspunkte nehmen, so würden auch die durch sie gelegten Senkrechten sämmtlich durch den Punkt s gehen. Dieser Punkt heißt der Schwerpunkt des untersuchten Körpers. Es ist leicht zu übersehen, daß in den dargestellten Lagen des stabilen Gleichgewichtes A, C und D der Schwerpunkt immer senkrecht unter dem Aufhängungspunkte liegt, in der Stellung B und in allen anderen möglichen Lagen des labilen Gleichgewichtes befindet sich der Schwerpunkt senkrecht über dem Aufhängungspunkte. Zur Ermittelung des Schwerpunktes reichen zwei Versuche aus, der Schwerpunkt liegt da, wo die beiden Senkrechten durch die beiden Aufhängungspunkte sich schneiden.

Eine neue Art von Gleichgewicht lernen wir kennen, wenn wir den Körper im Schwerpunkte unterstützen. Stechen wir bei s ein Loch durch die Pappe und ziehen durch dieses den Faden, so ist unser Körper in jeder Lage im Gleichgewicht, die wir ihm geben. In jeder der vier in Fig. 74 dargestellten Stellungen und in jeder anderen verharrt der Körper gleich leicht, sobald er im Schwerpunkt aufgehängt ist; er zeigt aber bei einer Veränderung seiner Lage kein Bestreben, in die frühere Lage zurückzukehren, diese dritte Art des Gleichgewichtes, das unbestimmte oder indifferente, hält also die Mitte zwischen dem stabilen und dem labilen Gleichgewichte. Wir können nun auch den Begriff „Schwerpunkt“ so erläutern, daß wir sagen: der Schwerpunkt ist derjenige Punkt, in welchem man einen Körper unterstützen muß, damit er in jeder Lage im Gleichgewicht ist.

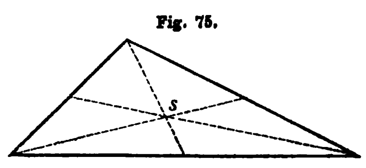
Eine senkrechte Linie durch den Schwerpunkt eines Körpers heißt Falllinie, in Fig. 74 A und B ist a d, in C ist b e, in D endlich c f die Falllinie; der Körper ist im Gleichgewicht, sobald ein Punkt der Falllinie unterstützt ist und nach dem obigen ist das Gleichgewicht

stabil, wenn der Unterstützungspunkt über,
indifferent, „ „ „ „ in,
labil, „ „ „ „ unter

dem Schwerpunkt liegt.

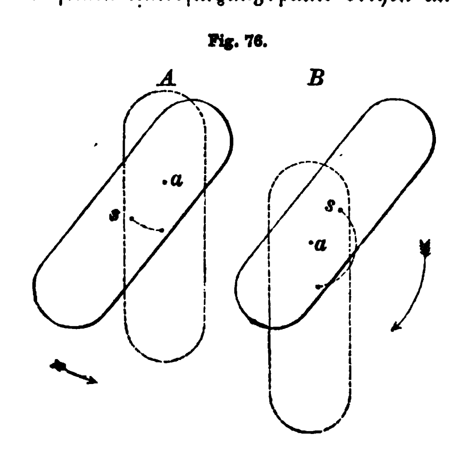
Bei regelmäßig gestalteten Körpern, z. B. bei quadratischen oder kreisförmigen Scheiben, bei Kugeln, Würfeln u. dergl. liegt der Schwerpunkt im Mittelpunkte, vorausgesetzt, daß diese Körper homogen sind, d. h. in allen ihren Theilen gleichartig beschaffen. Wenn ein Körper etwa auf einer Seite aus Holz, auf der anderen aus Blei ist, so wird der Schwerpunkt von der Mitte aus nach der Seite des schweren Bleies liegen. Durchbohrt man regelmäßige Scheiben aus gleichmäßig dicker Pappe in ihrem Mittelpunkt, so kann man sich durch Aufhängen an Fäden überzeugen, daß dort ihr Schwerpunkt liegt. Der Schwerpunkt eines Dreiecks, d. h. einer dreieckigen Platte liegt da, wo sich die drei geraden Linien schneiden, die man je von einer Ecke nach der Mitte der gegenüberliegenden Seite ziehen kann, siehe Fig. 75; um den Schwerpunkt zu finden reicht es natürlich aus, zwei solcher Linien zu ziehen.

Fig. 75.



Sobald ein in einem Punkte unterstützter oder aufgehängter Körper nicht im Gleichgewicht ist, d. h. sobald die Falllinie neben dem Unterstützungspunkt vorbeigeht, Fig. 76 A und B (wo a wieder der Unterstützungspunkt, s der Schwerpunkt ist), sucht die Schwerkraft den Schwerpunkt möglichst weit nach unten zu ziehen, den Körper also in's stabile Gleichgewicht zu bringen. Dabei wird sich der Körper natürlich um seinen Unterstützungspunkt drehen und zwar nach der Seite zu, auf welcher die Falllinie vom Unterstützungspunkt aus liegt. Den Weg, den der Schwerpunkt dabei beschreibt und die Lage, in der der Körper schließlich zur Ruhe kommt, sind durch punktirte Linien angedeutet. Nicht immer geht es an, einen Körper an einem Faden aufzuhängen, man kann ihn dann, wenn er an nur einer Stelle unterstützt werden soll, auf eine Nadel, auf die Fingerspitze oder dergl. setzen. Einen Körper auf diese Weise im labilen Gleichgewicht erhalten, heißt ihn balanciren. Weil ein im labilen Gleichgewicht befindlicher Gegenstand bei dem geringsten Anstoße umschlägt, muß man beim Balanciren durch passende Bewegung des Unterstützungspunktes (des Fingers) diesen immer von neuem in die Falllinie bringen. Am leichtesten balanciren sich lange Gegenstände, Stöcke u. dergl., bei denen der Schwerpunkt hoch über dem Unterstützungspunkte liegt. Fängt ein solcher Körper an umzuschlagen, so muß der Schwerpunkt einen großen Bogen beschreiben, um nach unten zu gelangen, dazu braucht

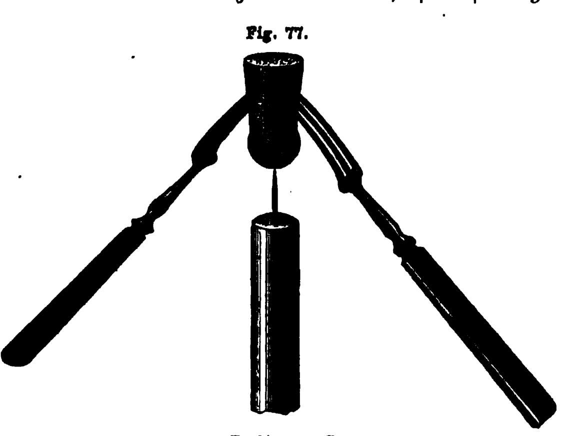
Fig. 76.



er verhältnißmäßig lange Zeit, so daß man im Stande ist, rechtzeitig den Unterstützungspunkt wieder senkrecht unter den Schwerpunkt zu bringen.

Bei vielen Körpern, insbesondere bei gebogenen oder winkelig gestalteten, fällt der Schwerpunkt gar nicht in die Masse des Körpers, sondern daneben in den leeren Raum, so bei einem kreisförmigen Ringe, einem Hufeisen, einem aus einem Stabe gebogenen Triangel u. s. f. Solche Körper lassen sich durch Unterstützung in einem Punkte nicht in's indifferente Gleichgewicht bringen, weil eine Unterstützung des Schwerpunktes nicht möglich ist. Dagegen sind solche Körper zumeist sehr leicht in's stabile Gleichgewicht zu bringen. Einen zusammengesetzten Körper, dessen Schwerpunkt außerhalb seiner Masse liegt, erhält man, wenn man in einen gewöhnlichen Kork zwei Gabeln unter schiefen Winkeln einsticht. In die untere Fläche des Korkes kann man mit dem Messer einen Einschnitt machen und in diese eine kleine Münze, einen Pfennig oder Groschen einklemmen und das Ganze auf eine Nadelspitze setzen, auf der es eine verhältnißmäßig ziemlich sichere Stellung einnimmt, Fig. 77. Die Nadel wird mit dem Oer in eine Vertiefung gesteckt, die man mit einer Pfrieme oben in den Stab eines Retortenhalters gestochen hat. Nimmt man eine Münze mit kleinen, punktförmigen Vertiefungen am Rande, z. B. sächsische Silberscheidemünze, und bringt die Nadelspitze in eine solche Vertiefung, um sie vor dem Ausgleiten zu sichern, so verträgt die Vorrichtung selbst bedeutende Schwankungen oder lebhaftes Drehen (durch seitliches Daranblasen) ohne zu fallen. Vielerlei Spielzeuge, wie Seiltänzer, Sägemänner u. dgl. beruhen darauf, daß durch angebrachte Gewichte ihr Schwerpunkt bis unter die eigentliche Figur herunter gezogen ist, so daß sie leicht in's stabile Gleichgewicht kommen.

Fig. 77.

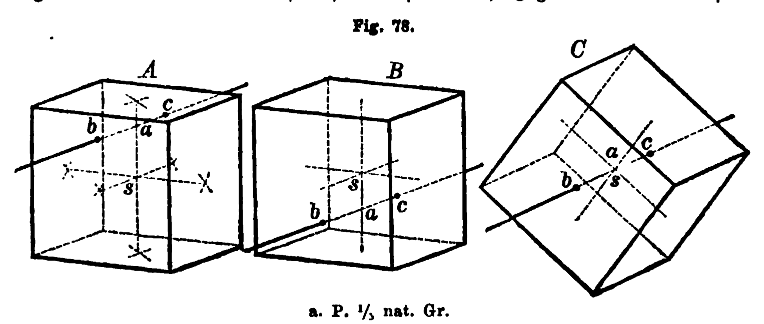


a. P. 1/2 nat. Gr.

Wird ein Körper in zwei Punkten zugleich unterstützt, so kann er sich nicht mehr nach allen Richtungen hin drehen, wie ein nur in einem Punkte unterstützter Körper, sondern nur noch so, daß eine durch jene zwei Punkte gelegte gerade Linie die Drehungsaxe bildet. So ist z. B. die Unterstützung der Fallmaschinenrolle. Diese ist im indifferenten Gleichgewicht; sie bleibt, für sich allein in jeder Stellung stehen, die man ihr überhaupt geben kann; obgleich der Schwerpunkt selbst, welcher in ihrem Mittelpunkte liegt, nicht unterstützt ist, verhält es sich doch so, als ob er unterstützt wäre. Wenn sich nämlich ein Körper um eine durch zwei Punkte gelegte Linie dreht, so beschreiben alle Punkte des Körpers Kreise, ausgenommen diejenigen Punkte, welche in eben dieser Linie liegen. Die zuletzt genannten Punkte können ihre Lage bei der Drehung nicht ändern, es ist eben so gut, als ob sie alle selbst unterstützt wären; liegt also der Schwerpunkt in dieser Linie, so ist der Körper

im indifferenten Gleichgewichte. Nach dem Früheren ist ein Körper im Gleichgewichte, sobald irgend ein Punkt der Falllinie unterstützt ist, nehmen wir diesen Satz mit dem eben Gesagten zusammen, so ergiebt sich daß ein in zwei Punkten unterstützter Körper im Gleichgewicht ist, wenn ein Punkt in der geraden Verbindungslinie der Unterstützungspunkte zugleich ein Punkt der Falllinie ist, d. h. wenn diese zwei Linien sich schneiden. Je nachdem der Durchschnitt unter, in, über dem Schwerpunkte stattfindet, ist das Gleichgewicht labil, indifferent, stabil. Versuche über diese Art der Unterstützung lassen sich anstellen mit Hülfe eines hohlen Pappwürfels, dessen Schwerpunkt im Mittelpunkt liegt, d. h. da, wo sich die drei geraden Linien schneiden, welche die Mittelpunkte je zweier, gegenüberliegender Seiten verbinden, also im Punkte s, Fig. 78. An den Punkten,

Fig. 78.

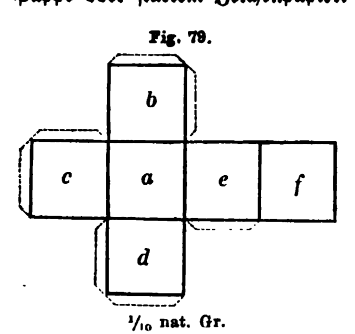


a. P. 1/5 nat. Gr.

welche unterstützt werden sollen, sticht man mit einer Pfrieme Löcher in den Würfel und schiebt eine Stricknadel durch, welche an beiden Enden mit der Hand gehalten oder mit einem Ende in einen Retortenhalter gespannt wird. Fig. 78 A giebt das stabile, B das labile, C das indifferente Gleichgewicht, b und c sind immer die Unterstützungspunkte, a der Durchschnittspunkt der Falllinie und der Verbindungslinie. Die letztere, welche die Stricknadel darstellt, braucht nicht, wie es in der Figur angenommen ist, wagrecht zu sein, man kann ihr auch eine geneigte Lage geben.

Einen Würfel zu diesen Versuchen fertigt man aus dünner, recht gleichmäßiger Pappe oder starkem Zeichenpapier. Fig. 79 zeigt das Netz des Würfels, d. i. die Zusammenstellung der sechs Quadratflächen, die man ausschneidet, um daraus den Würfel zu bilden. Bei Pappe ist es nöthig, die Linien, welche das Quadrat a einschließen und die Linie zwischen den Quadraten e und f bis auf die halbe Pappdicke mit einem scharfen Messer einzuritzen, bei starkem Papier genügt es, diese Kanten scharf umzubrechen. Bei Herstellung derartiger Hohlkörper aus Papier läßt man oft an den Seiten der Flächen, die mit anderen zusammengeklebt werden sollen, kleine Streifen stehen, die in der Figur durch punktirte Linien angedeutet sind; für den vorliegenden Zweck ist die Anwendung solcher Verbindungsstreifen nicht gestattet, weil sie den Würfel einseitig machen, den Schwerpunkt aus der Mitte bringen würden, vielmehr muß man die Kanten mit besonderen Streifchen von dünnem Papier bekleben, die man nicht nur auf die zu verbindenden, sondern der Gleichförmigkeit wegen auch auf die schon im Netz zusammenhängenden Kanten aufleimt. Starkes Papier kann man allenfalls mit der Scheere

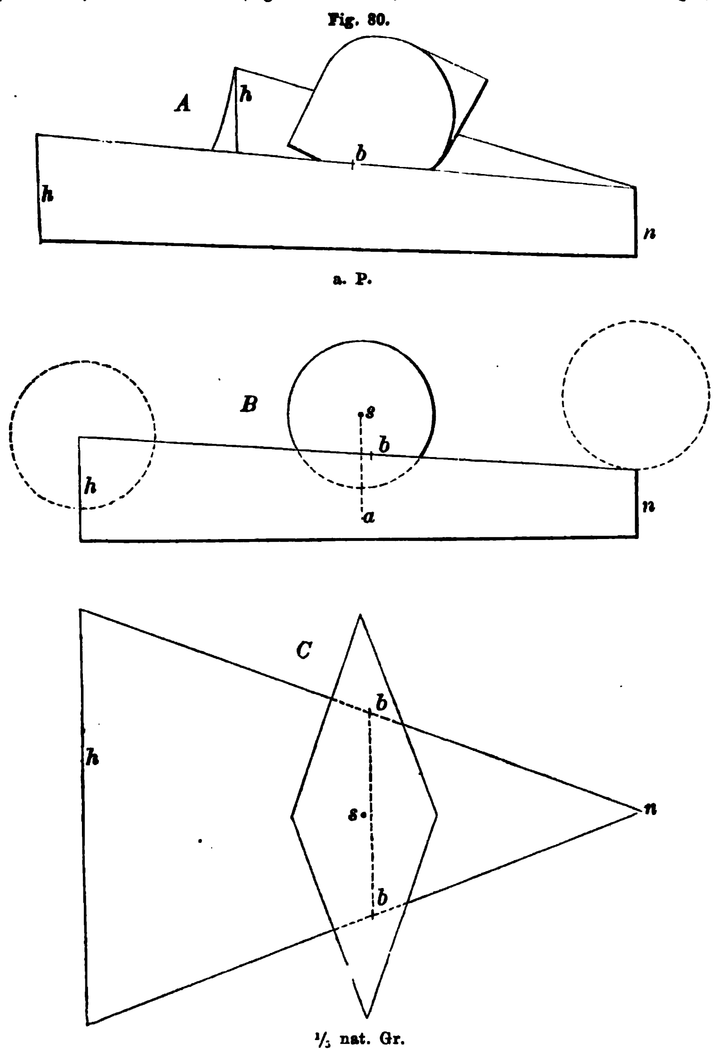
Fig. 79.



1/10 nat. Gr.

schneiden; einen glatteren Schnitt giebt ein scharfes Messer, das man an einem, womöglich eisernen Lineale führt; bei Pappe muß man jedenfalls ein Messer anwenden, dasselbe aber nach wenigen Schnitten immer wieder auf einem Wetzsteine abziehen; die auf das Schärfen verwendete Mühe wird durch schnellere und schönere Arbeit reichlich gelohnt. Den Leim zerschlägt man mit dem Hammer; hat er feucht gelegen, so muß man ihn mit einer kräftigen Scheere schneiden. Die Stücken übergießt man

Fig. 80.



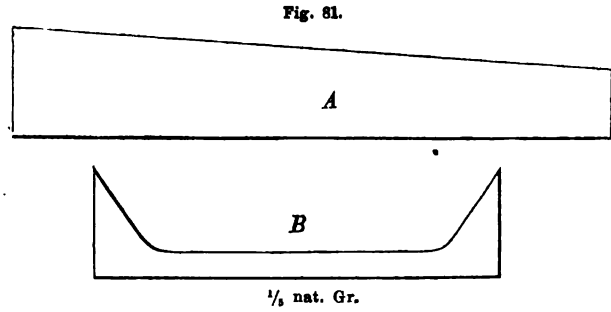
1/3 nat. Gr.

reichlich mit kaltem Wasser und läßt sie damit einen halben Tag stehen, erst wenn der Leim ganz aufgequollen ist, darf er durch Erhitzen flüssig gemacht werden; immer verwende man ihn heiß, aber dünnflüssig, nur so läßt er sich in ganz dünner Schicht auftragen, was für sauberes Arbeiten durchaus nöthig ist. Bei länger fortgesetztem Gebrauch und bei späterem Wiedererwärmen versäume man nicht, das verdunstete Wasser zu ersetzen. Das Leimgefäß soll jedenfalls von Metall sein; am vortheilhaftesten ist ein Wasserbad, ein doppelwandiges Gefäß von Blech oder Gußeisen,

dessen äußeren Zwischenraum man zu zwei Dritteln seiner Höhe mit Wasser füllt, so daß das innere, eigentliche Leimgefäß nur durch das Wasser, nicht durch den Ofen oder die untergesetzte Lampe unmittelbar erwärmt wird; ein solches Wasserbad verhindert das lästige, sonst leicht vorkommende Verbrennen des Leimes.

Ein bemerkenswerthes Verhalten zeigt ein auf zwei geneigte, in einem passenden Winkel zusammenstoßende Linien gelegter **Doppelkegel**, wie er in Fig. 80 und zwar bei A in anisometrischer Projection, bei B von der Seite und bei C von oben gesehen dargestellt ist. Die geneigten Linien werden gebildet durch die oberen Kanten zweier gleicher, dünner Brettchen, welche an dem einen niedrigeren Ende verbunden sind, während die anderen, höheren Enden knapp so weit voneinander abstehen, als die beiden Spitzen des Doppelkegels. Der Höhenunterschied zwischen den Enden der von beiden Brettchen gebildeten Bahn ist kleiner, als der Halbmesser des Doppelkegels an der Stelle, wo die beiden Kegel zusammenstoßen, d. i. der Halbmesser der gemeinschaftlichen Grundfläche beider Kegel. Der hier dargestellte Doppelkegel ist 28^{cm} lang und 10^{cm} dick, sein Halbmesser also 5^{cm}, die Höhen der Bahn an den Enden sind 7 und $4,^{cm}5$, der Höhenunterschied also $2,^{cm}5$. Legt man den Doppelkegel so auf seine Bahn, daß die Verbindungslinie der beiden Spitzen parallel liegt mit der Verbindungslinie der beiden höheren Ecken der Brettchen, so läuft er nicht nach dem tieferen, sondern nach dem höheren Ende der geneigten Bahn, also scheinbar der Wirkung der Schwere entgegen. Beobachtet man den Kegel genau, so sieht man freilich, daß das Hinlaufen nach dem höheren Bahnende nicht ein Steigen, sondern ein Fallen desselben ist und noch deutlicher ergiebt sich das aus Fig. 80 B. Am niedrigen Ende der Bahn liegt der Kegel mit seiner Mitte, am höheren Ende mit seinen Spitzen auf, dort beträgt die Höhe seines Mittelpunktes $4,5 + 5 = 9,^{cm}5$, hier nur 7^{cm}. Der Schwerpunkt des homogenen Kegels ist sein Mittelpunkt s, die senkrechte Linie durch diesen ist also die Falllinie s a (in Fig. B), die beiden Punkte, in denen der Kegel unterstützt ist, b b, liegen aber nicht in der Mittellinie des Kegels, sondern etwas rechts davon (wie man an einem wirklichen Doppelkegel, den man in der Mitte seiner Bahn mit der Hand festhält, noch besser erkennt, als in der Figur); die Falllinie s a geht also links an der Verbindungslinie der Unterstützungspunkte vorbei und der Kegel muß deshalb sich nach links drehen.

Fig. 81.



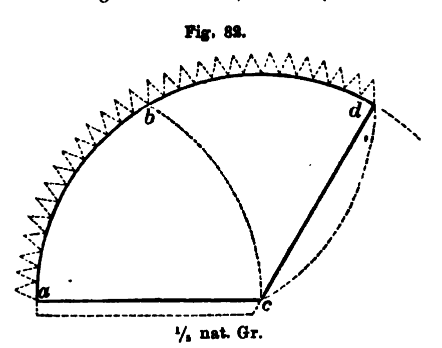
1/5 nat. Gr.

Die Bahn wird hergestellt aus zwei Brettchen von 40^{cm} Länge von der Form Fig. 81 A, die man am niedrigen Ende durch ein Stückchen aufgeleimtes Band verbindet; die höheren Enden werden durch ein 28^{cm} langes Brettchen von der Form Fig. 81 B oder auch blos durch eine Schnur von passender Länge in richtiger Entfernung voneinander gehalten. Die Brettchen kann man aus Cigarrenkistenholz schneiden, allenfalls ist selbst steife Pappe ein Ersatz des Holzes. Der Doppelkegel ist freilich am schönsten, wenn er aus Holz gedreht wird, indessen läßt er sich ganz

wol aus steifem Papier hohl verfertigen. In der hier verlangten Größe (28^{cm} lang, 10^{cm} dick) erhält man ihn auf folgende Weise:

Man beschreibt mit einem Halbmesser von 15^{cm} einen Kreisbogen a b d (Fig. 82), trägt dann von dem Ende a aus den Halbmesser auf diesen Kreisbogen selbst auf, thut von dem dadurch bestimmten Punkte b aus nochmals dasselbe, um so den Punkt d zu erhalten und verbindet a und d mit dem Mittelpunkt c des Kreisbogens durch gerade Linien. a c d ist dann ein Winkel von 120, a b d c der dritte Theil eines Kreises. Diese Figur entwirft man sich zwei mal auf steifes Papier, schneidet sie aus und klebt jedesmal die Linien a c und d c aneinander, so daß man zwei einzelne Kegel erhält, deren Grundkreis aus dem Kreisbogen a b d entstanden ist. Damit die Spitze c ordentlich scharf und der Kegel gut rund wird, dreht man das ausgeschnittene Papier vor dem Zusammenkleben zu einer recht spitzen Düte zusammen, die sich zum Theil, aber nicht ganz wieder aufrollt und dann von selbst nahezu die richtige Kegelform annimmt. Man braucht, wenn man nicht ganz außerordentlich dickes Papier nimmt, die Verbindung hier nicht durch besonders aufgeklebte Streifen dünneren Papieres zu bewirken, sondern kann jedesmal an der Linie a c ein (punktirt angedeutetes) Verbindungsstreifchen und an der Bogenlinie des einen Stückes kleine Zacken (ebenfalls punktirt) stehen lassen. Nachdem jeder Kegel für sich zusammengeklebt ist, biegt man die an dem einen befindlichen Zäckchen schwach einwärts, so daß sie sich von selbst an dem inneren mit Leim bestrichenen Rand des zweiten Kegels anlegen, wenn man diesen darauf stülpt. Dabei muß man darauf achten, daß die Verbindungsnäthe der beiden Kegel nicht aneinanderstoßen, sondern auf entgegengesetzten Seiten liegen, denn nur so kommt der Schwerpunkt ordentlich in die Mittellinie. Mißlingt der Kegel das erste Mal, so lasse man sich die Mühe nicht verdrießen, die Arbeit zu wiederholen; mit geringer Uebung bringt man bald einen brauchbaren Körper zu Stande.

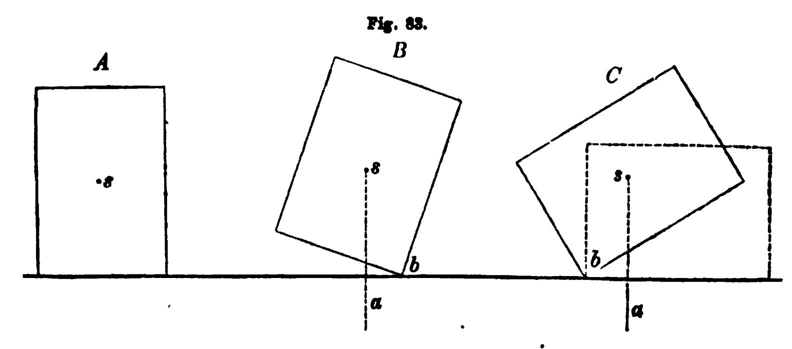
Fig. 82.



1/2 nat. Gr.

Bei einem Körper, welcher in drei oder mehr Punkten oder in einer ganzen Fläche unterstützt ist, können wir nicht mehr die drei Arten des Gleichgewichtes, wie bisher, unterscheiden. Ist z. B. ein rechteckiger Körper

Fig. 83.



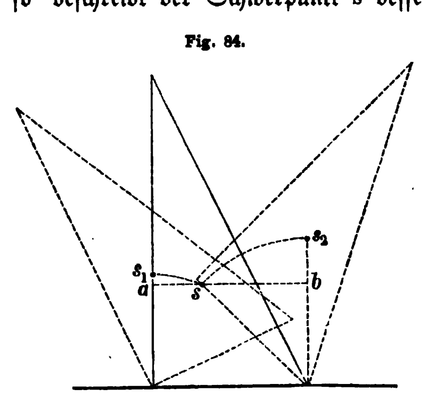
auf eine ebene Unterlage gestellt, Fig. 83 A, so verhält er sich, solange er nicht sehr aus seiner Lage gebracht wird, wie ein Körper im stabilen Gleichgewicht, nämlich solange er nur soweit gedreht wird, daß die Fallinie die Kante nicht überschreitet, über welche man den Körper umzuwerfen sucht,

6*

wie Fig. 83 B, wo die Falllinie s a links von der Kante b bleibt. Dreht man aber einen solchen Körper so weit, daß die Falllinie über die Kante hinausgeht, wie Fig. 83 C, so fällt der Körper um, kommt aber nicht, wie ein in ein oder zwei Punkten unterstützter Körper in der entgegengesetzten, sondern meist in irgend einer anderen Lage zur Ruhe, der in unserer Figur dargestellte Körper z. B. in der durch punktirte Linien angedeuteten Lage.

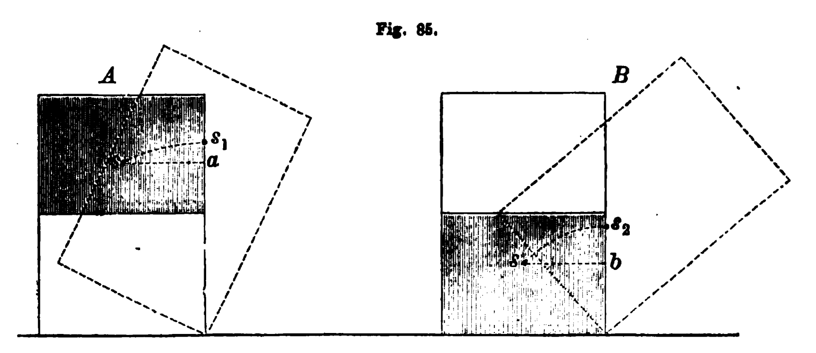
Wird ein Körper über eine seiner Kanten umgeworfen (Fig. 84 und 85), so beschreibt der Schwerpunkt s desselben einen Kreisbogen $s\,s_1$ oder $s\,s_2$ nach oben zu, es wird also der Schwerpunkt und mit ihm der ganze Körper ein gewisses Stück in die Höhe gehoben. Je größer nun dieses Stück und je schwerer der Körper ist, um so größer ist die Arbeit, um so größer auch die Kraft, welche man zum Umwerfen des Körpers braucht oder, wie man sagt, um so größer ist die Standfestigkeit (Stabilität) des Körpers.

Fig. 84.



Liegen der Schwerpunkt und die Falllinie einer Kante des Körpers näher, als einer anderen, wie es bei dem dreieckigen Körper Fig. 84 der Fall ist, so ist derselbe leichter nach der ersten, als nach der zweiten Seite umzuwerfen. Im ersteren Falle beschreibt der Schwerpunkt den Bogen $s\,s_1$ und wird dabei nur um das Stück s_1 a gehoben, im zweiten Falle muß er den größeren Bogen $s\,s_2$ beschreiben und um das Stück s_2 b gehoben werden. Soll ein Körper recht fest stehen, so wird man dafür sorgen, daß

Fig. 85.



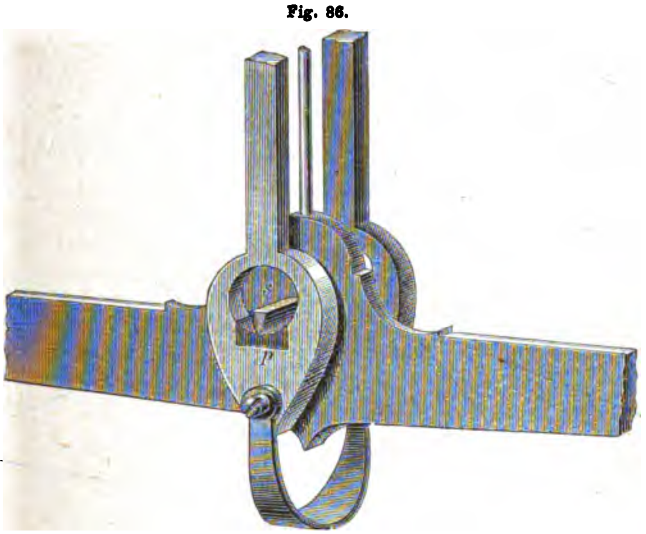
die Falllinie nach allen Seiten hin weit vom Rande des Körpers absteht, d. h. man wird dem Körper eine recht breite Grundfläche geben müssen.

Fig. 85 stellt einen Körper vor, der halb aus Eisen, halb aus Holz besteht und dessen Schwerpunkt deshalb nicht in der Mitte, sondern weit auf der Seite der eisernen Hälfte liegt. Liegt der Schwerpunkt hoch, wie bei A, so beschreibt er beim Umwerfen einen flachen Bogen $s\,s_1$ und wird um das Stück s_1 a gehoben, liegt dagegen der Schwerpunkt tief, wie bei B, so muß er einen höheren Bogen $s\,s_2$ beschreiben und um das größere Stück s_2 b

gehoben werden; es wird also eine größere Arbeit und eine größere Kraft dazu gehören, einen Körper mit tiefliegendem Schwerpunkt, als einen sonst gleich beschaffenen Körper mit hochliegendem Schwerpunkt umzuwerfen. Bei Dingen, welche feststehen sollen, wie bei Lampen u. dergl., bringt man den Schwerpunkt dadurch möglichst tief, daß man den Fuß mit Blei ausgießt.

Von den bis jetzt betrachteten Vorrichtungen sind einige (Wellrad, Rolle der Fallmaschine) im indifferenten Gleichgewicht, weil die Verbindungslinie ihrer Unterstützungspunkte durch ihren Schwerpunkt geht, den Hebel dagegen haben wir im stabilen Gleichgewicht benutzt, d. h. wir haben ihn an zwei Punkten (den Enden des mittelsten Loches) unterstützt, welche etwas oberhalb des Schwerpunktes liegen. Es geschah dies, damit wir aus einer bestimmten Stellung, der wagrechten, den Gleichgewichtszustand und aus einer schiefen Stellung die Störung des Gleichgewichts erkennen konnten; der Hebel sollte nur eine (stabile) Gleichgewichtslage haben, während ein im indifferenten

Fig. 86.

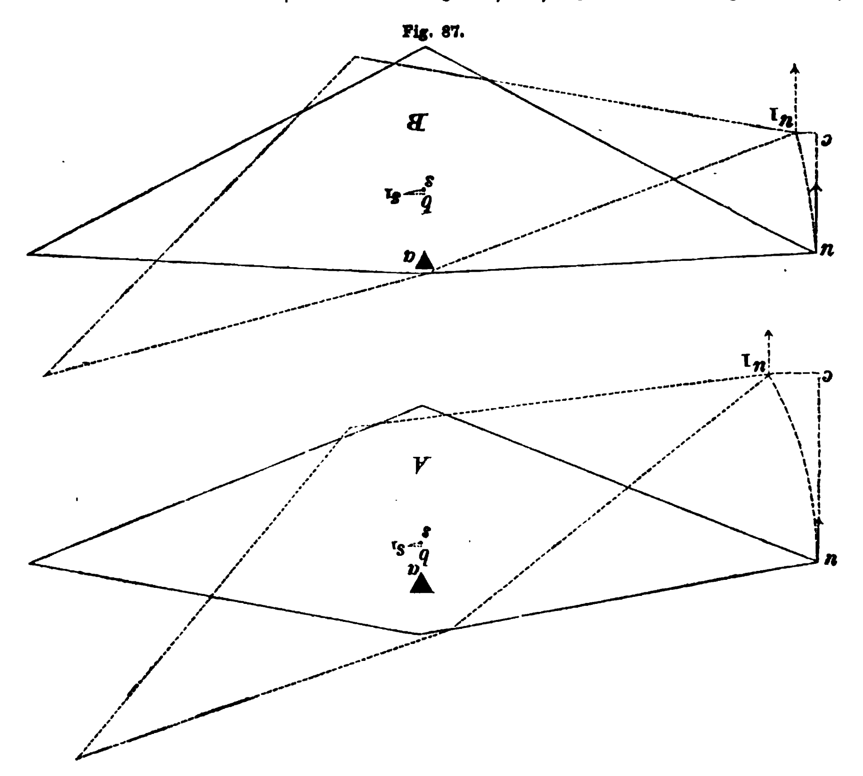


a. P, nat. Gr.

Gleichgewicht befindlicher Körper in jeder Lage im Gleichgewicht ist. Ein im stabilen Gleichgewicht aufgehängter, gerader Hebel ist auch die gewöhnliche Wage. Die Wage soll uns dienen, um entweder das Gewicht eines gegebenen Körpers zu ermitteln oder eine verlangte Gewichtsmenge eines Körpers abzumessen; in jedem Falle soll die Wage erkennen lassen, ob zwei Dinge (zu wägender Körper einerseits, Gewichte andererseits) gleich schwer sind oder nicht und zwar dadurch, daß sie im ersten Falle im Gleichgewicht ist, im anderen nicht. Wenn aber gleiche Kräfte (gleiche Gewichte) sich an einem Hebel im Gleichgewicht halten sollen, so müssen nach §. 13 die Hebelarme gleich sein; die erste Forderung also, die wir zu stellen haben ist: eine Wage muß ein gleicharmiger Hebel sein. Ferner soll eine Wage empfindlich sein, d. h. ein kleines Uebergewicht auf einer Seite soll die Wage merklich schief stellen. Dazu ist vor allen Dingen nöthig, daß die Wage sehr leicht drehbar ist. Man erreicht die leichte Drehbarkeit dadurch, daß man die Drehungspunkte nicht durch runde Axen, sondern durch Schneiden unterstützt. Durch

die Mitte des Wagbalkens geht ein dreikantiges, nach unten eine Schneide bildendes Stahlstück s (Fig. 86) hindurch, welches nahe an seinen Enden auf sogenannten Pfannen (p) ruht, d. i. auf gut polirten, schwach ausgehölten Plättchen von Stahl oder auch (bei sehr feinen Wagen) auf ganz ebenen Platten von Carneol oder Achat. Die Schneide muß so scharf sein, als es irgend angeht, ohne daß sie durch das Gewicht der belasteten Wage ausbricht; Schneide und Pfannen müssen sehr hart sein, damit erstere sich nicht abstumpft und letztere keine Eindrücke annehmen. Damit eine Wage empfindlich sei, ist aber weiter nöthig, daß sie zu einer bedeutenden Bewegung nur eine kleine Arbeit erfordert. Die gewöhnliche Form des Wagbalkens ist

Fig. 87.



ein sehr flaches Deltoïd[22], Fig. 87 stellt zwei Wagbalken vor, der Deutlichkeit wegen breiter gezeichnet, als man sie in Wirklichkeit anwendet. a bedeutet jedesmal den Aufhängungspunkt, s den Schwerpunkt, in dem man sich das Gewicht des Wagbalkens vereinigt denken kann.

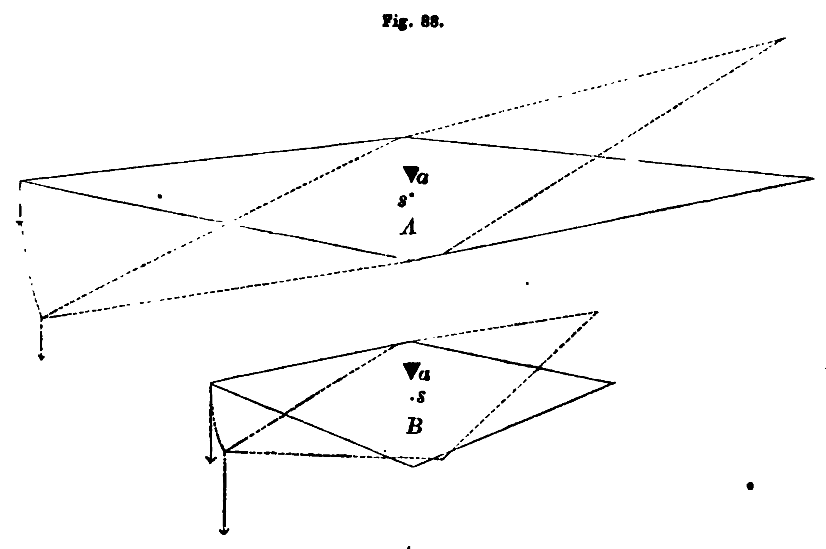
Bringt man auf einer Seite des Wagbalkens ein kleines Uebergewicht an (durch den Pfeil u angedeutet), so wird dies den Wagbalken auf dieser Seite niederziehen, dabei beschreibt der Schwerpunkt einen Kreisbogen und kommt von s nach s_1, während das Uebergewicht den Bogen u u_1 beschreibt. Der

---

[22] Deltoïd heißt ein Viereck, von dessen Seiten zwei aneinanderstoßende gleich lang, aber etwas kürzer sind, also die beiden anderen, unter sich wieder gleichen Seiten.

Schwerpunkt (das Gewicht des Wagbalkens) wird dabei um das Stück s b gehoben, während das Uebergewicht um das Stück u c sinkt. Wir wissen, daß die Arbeit des Uebergewichtes gleich der zur Hebung des Schwerpunktes erforderlichen Arbeit ist, d. h. daß das Product aus dem Uebergewicht und seinem Wege u c gleich dem Produkt aus dem Gewicht des Wagbalkens und dem Wege s b ist. A und B (Fig. 87) sind zwei Wagbalken, welche wir uns gleich schwer denken wollen; der Schwerpunkt liegt bei A näher am Aufhängungspunkte, als bei B. Damit in beiden Fällen das Stück b s, also auch die Arbeit zur Hebung des Schwerpunktes gleich groß sei, muß sich der Wagbalken A stärker neigen, als B, es wird also der Bogen u u_1 und die Senkung u c des Uebergewichtes im ersten Falle größer sein, als im zweiten. Da aber nach dem Vorhergehenden die Arbeiten der Uebergewichte gleich sein sollen, so muß zu dem größeren Wege u c bei A eine kleinere Kraft u, zu dem kleineren Wege u c bei B eine größere Kraft u

Fig. 88.



gehören, wie dies auch in der Figur durch die verhältnißmäßige Größe der beiden Pfeile angedeutet ist. Die Vergleichung der beiden Figuren A und B ergiebt also, daß (bei gleicher Länge und gleichem Gewicht des Wagbalkens) ein kleineres Uebergewicht einen größeren Ausschlag bewirkt, wenn der Schwerpunkt (s) näher am Aufhängungspunkt (a) liegt, als ein größeres Uebergewicht bei tiefer liegendem Schwerpunkte; die zweite an eine Wage zu stellende Forderung ist also: der Schwerpunkt des Wagbalkens soll möglichst nahe unter dem Aufhängungspunkte liegen[23].

Je schwerer ein Wagbalken ist, um so größer ist die bei der Hebung des Schwerpunktes zu verrichtende Arbeit, um so größer ist deshalb auch das zu einem gewissen Ausschlag erforderliche Uebergewicht; damit schon ein kleines Uebergewicht einen beträchtlichen Ausschlag giebt, wird man also den Wagbalken möglichst leicht herstellen, doch darf man dabei eine gewisse Grenze

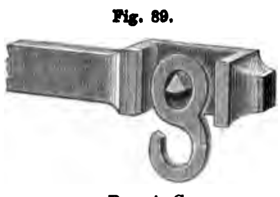
[23] Ganz damit zusammen fallen darf er nicht, weil sonst ein labiler Gleichgewichtszustand anstatt eines stabilen eintreten würde.

nicht überschreiten, weil sonst der Wagbalken biegsam wird; für feine Wagen nimmt man durchbrochene Balken, anstatt massiver, weil erstere bei gleichem Gewichte steifer und fester sind, als letztere und also verhältnißmäßig leichter sein dürfen.

Wenn zwei Wagbalken bei verschiedener Länge gleiches Gewicht und gleichen Abstand des Schwerpunktes vom Aufhängungspunkte haben (Fig. 88 A und B), so ist zu einer Drehung um einen bestimmten Winkel, z. B. um 20°, bei beiden gleichviel Arbeit erforderlich, diese Arbeit wird aber bei dem längeren Balken A durch ein kleineres Uebergewicht geleistet werden, weil dieses einen längeren Weg durchläuft. Der Wagbalken soll deshalb lang sein, um eine große Empfindlichkeit zu besitzen, doch ist auch hier ein Uebermaß zu vermeiden, weil derselbe sonst zu biegsam wird.

Die Schalen der Wage werden auch an Schneiden aufgehängt, diese müssen natürlich die Schärfe nach oben kehren. Bei gewöhnlichen Wagen sind die Schneiden kurz und tragen kleine Stahlhaken von der Form einer nicht ganz geschlossenen 8, Fig. 89 (der kleine Rahmen, in dem die Schneide befestigt ist, ist so dargestellt, als ob seine vordere Seite fehlte, damit man den Haken sehen kann). Damit die Wage einen gleicharmigen Hebel bildet, müssen die beiden seitlichen Schneiden von der Mittelschneide genau gleich weit entfernt sein, außerdem sollen sie damit in einer Ebene liegen [24]. Die Schalen werden mit drei oder vier Schnüren oder besser mit einfachen oder doppelten Drahtbügeln aufgehängt; für physikalische Zwecke ist es gut, wenn dieselben nur sehr wenig vertieft oder ganz eben sind.

Fig. 89.



a. P. nat. Gr.

Um die wagrechte Stellung bequem erkennen zu können, bringt man am Wagbalken einen dünnen Zeiger von ziemlicher Länge, die sogenannte Zunge an, die bei hängenden Wagen aufwärts, bei solchen, welche auf einer Tragsäule stehen, häufig auch abwärts gerichtet ist.

Wagen zu genauen Arbeiten sind immer auf einer solchen Säule angebracht und mit einer besonderen Vorrichtung (der Arretirung) versehen, welche gestattet, während des Nichtgebrauches den Wagbalken und die Schalen festzustellen und die Mittelschneide von ihrer Pfanne (wol auch die Gehänge von den Seitenschneiden) ein wenig abzuheben, damit nicht durch immerwährendes Schwingen die Schneiden sich abstumpfen. Auch gewöhnliche Wagen versieht man manchmal mit einer Art Arretirung; man hängt sie nämlich am vorderen Ende eines hölzernen oder messingenen Hebels auf, der sich um eine Axe dreht, welche von einer Säule getragen wird; das hintere Ende des Hebels kann mittelst einer Schnur niedergezogen oder wieder in die Höhe gelassen werden, um die Wage etwas zu heben oder soweit zu senken, daß die Schalen auf dem Brett aufstehen, welches die Säule trägt. Für unsere Zwecke dient am besten eine gewöhnliche Wage zum Aufhängen; dieselbe wird immer an dem Gestell Fig. 35 befestigt. Für gewöhnliche Wägungen hängt man dieselbe mittelst eines starken Drahtes auf, den man sich für diesen Zweck aufhebt; derselbe wird an beiden Enden zu einem Haken gebogen und so lang gemacht, daß die Wagschalen

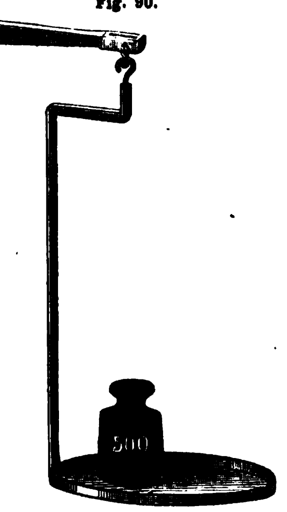
---

[24] Die Begründung dieser letzten Forderung muß hier wegbleiben, was um so eher angeht, als auch die Prüfung, ob sie wirklich erfüllt ist, eine schwierige, die Grenzen dieses Buches überschreitende Arbeit ist. Für die allerfeinsten Wagen, bei denen man die Biegung des Wagbalkens durch die angehängten Gewichte berücksichtigen muß, bringt man neuerdings die seitlichen Schneiden so an, daß sie im unbelasteten Zustande ganz wenig höher liegen, als die Mittelschneide.

etwa 1 bis 2^{cm} über dem Brett schweben. Für einzelne Versuche muß man die Wage höher hängen, dazu nimmt man kürzere Drähte, nicht gern Bindfaden, weil dieser sich zuviel hin- und herdreht. Die Schalen sollen jedenfalls Messingbügel haben; doppelte Bügel, wie z. B. in Fig. 137 gezeichnet sind, haben den Vortheil, daß die Schale wagrecht schwebt, wenn sie in der Mitte belastet ist und daß sie ziemlich dünn sein dürfen. Bei einfachen Bügeln, Fig. 90, darf man die Belastung nicht in die Mitte, sondern muß sie senkrecht unter den Aufhängungspunkt bringen, auch müssen diese Bügel ziemlich stark sein, um sich nicht zu biegen, dafür aber haben sie den Vortheil, etwas mehr freien Spielraum zu gewähren.

Will man eine Wage prüfen, so hänge man zunächst den Balken ohne die Schalen auf und sehe zu, ob die Zunge richtig einspielt. Es wird kaum vorkommen, daß dies bei einer gekauften Wage nicht der Fall ist, sollte wirklich die Zunge merklich nach einer Seite neigen, so kann man dem dadurch abhelfen, daß man den Balken auf dieser Seite durch ganz vorsichtiges Befeilen mit der Schlichtfeile etwas leichter macht; beim Feilen darf man aber den Balken nur in der Hand halten, ihn nicht in den Schraubstock spannen, um ihn nicht zu verbiegen. Jedenfalls nimmt man die Correction nicht eher vor, als bis man sich überzeugt hat, daß die Wage sonst brauchbar ist, damit man sie nöthigenfalls zurückgeben kann; ist eine Correction nöthig, so bewirkt man sie vorläufig durch Beschweren der zu leichten Balkenseite durch ein Stückchen ganz dünnen Draht oder dergleichen.

Fig. 90.



a. P. 1/5 nat. Gr.

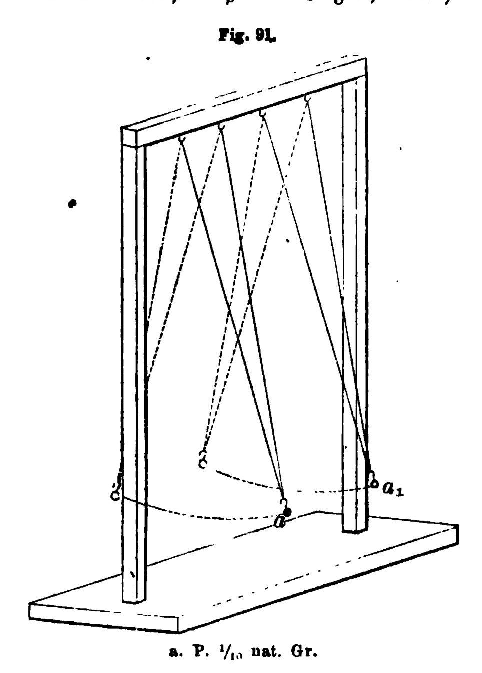
Man drückt nun auf einer Seite den Balken etwas nieder und läßt ihn los; er soll langsame Schwingungen machen und lange fortschwingen; schwingt er zu schnell, so liegt der Schwerpunkt zu tief, kommt er zu schnell zur Ruhe, so ist die Mittelschneide stumpf.

Hierauf hängt man die Schalen ein, legt auf jede Seite einige Hundert Gramm Gewichte und stellt (nöthigenfalls durch Zulegen kleiner Holzschnitzel oder dergl.) Gleichgewicht her, nimmt dann die Schalen sammt ihrer Belastung ab und hängt jede auf die andere Seite; ist die Wage richtig, so muß auch jetzt wieder Gleichgewicht stattfinden; ist ein Arm des Balkens länger als der andere, so sinkt er nach dem Vertauschen der Schalen nieder, weil man bei der Herstellung des Gleichgewichtes die Belastung des kürzeren Armes etwas größer gemacht hat, als die des längeren und diese größere Last jetzt an den längeren Arm gehängt worden ist; findet man einen derartigen Fehler, der so groß ist, daß er sich durch Zulegen von 0,1 bis $0^{gr},2$ auf die leichtere Seite nicht ausgleichen läßt, so gebe man die Wage zurück, weil bei den gewöhnlichen Wagen eine Correction dieses Fehlers nicht leicht ausführbar ist. Ist dagegen die Wage genügend gleicharmig, so kann man jetzt den zuerst erwähnten Fehler, wenn er vorhanden sein sollte, durch Feilen beseitigen und hat nun noch die Gleichheit der Wagschalen zu prüfen. Zu diesem Zweck hängt man an den im Gleichgewicht befindlichen Balken die leeren Schalen; sind dieselben richtig, so darf das Gleichgewicht nicht gestört werden; ist eine Schale zu leicht, so beschwert man sie durch etwas Draht, den man fest um den Bügel herumwindet oder durch Auflöthen von ein wenig Weichloth auf die untere Seite der Schale; was man an Loth zuviel aufgebracht hat entfernt man durch vorsichtiges Abschaben mit dem Messer.

15. Pendel. Ein im stabilen Gleichgewicht beweglich (in 1 oder 2 Punkten) aufgehängter Körper kehrt, wenn man ihn aus seiner Gleichgewichtslage bringt, von selbst in diese zurück; er kommt aber darin nicht sofort zur Ruhe, sondern geht zunächst nach der anderen Seite über

dieselbe hinaus, um dann wieder zurückzukehren und dieselbe Bewegung noch oft zu wiederholen. Die Schwerkraft, welche den Schwerpunkt nach der tiefsten, möglichen Stelle herabzieht, ertheilt den Körper eine gewisse Geschwindigkeit, einen gewissen Arbeitsinhalt, und dieser Arbeitsvorrath reicht gerade hin, den Schwerpunkt auf der anderen Seite soweit über die Gleichgewichtslage hinauf zu heben, als er auf der ersten Seite heruntergekommen ist. Sobald der Arbeitsinhalt aufgezehrt ist, kommt der Körper zur Ruhe und fängt an, sich in umgekehrter Richtung zu bewegen. Eine derartige Bewegungsweise nennt man schwingende oder oscillirende Bewegung und einen im stabilen Gleichgewicht beweglich aufgehängten Körper ein Pendel. Wenn auf ein Pendel nur die Schwerkraft wirkte, welche seine Bewegung beim Niedergang gerade so viel beschleunigt, als sie dieselbe beim Aufgang verzögert, so müßten alle Schwingungen genau gleich groß sein und die Bewegung müßte bis ins Unendliche fortgehen. Reibung und Luftwiderstand bewirken aber, daß die Bögen, welche der schwingende Körper beschreibt, immer kleiner werden und schließlich völliger Stillstand eintritt. Die Schwingungen eines Pendels zeigen gewisse Eigenthümlichkeiten, welche am deutlichsten hervortreten, wenn man ein einfaches Pendel anwendet, d. h. ein solches, welches aus einem kleinen schweren Körper besteht, der an einem so leichten Faden hängt, daß man das Gewicht des Fadens gegen das des Körpers vernachlässigen kann. Ein einfaches Pendel haben wir schon in §. 12 (Fig. 53) benutzt, läßt man ein solches lange Zeit fortschwingen, so fängt es allmählig an, nach der Seite auszuweichen und anstatt eines in einer senkrechten Ebene liegenden Kreisbogens eine länglich runde, geschlossene Bahn zu durchlaufen; um andauernd reine Kreisbogenschwingungen zu erhalten, hängt man am besten eine Bleikugel an zwei gleich langen Fäden auf, welche nach oben auseinandergehen. An vier in das schon oft benutzte Gestell eingeschraubte Häkchen hänge man zwei gleich lange Pendel, deren Fäden am besten aus recht dünner Seide, wenigstens aber aus ganz feinem Zwirn bestehen und von denen eines mit einer Bleikugel, das andere mit einer Gypskugel versehen ist, Fig. 91, in welche man Drahthaken eingegossen hat; dann bringe man mit beiden Händen die Pendel in die in der Figur mit a und a_1 bezeichnete Lage und lasse sie gleichzeitig los: man wird beobachten, daß beide ihre Schwingungen in derselben Zeit ausführen, es ist also die Schwingungszeit eines Pendels unabhängig von dem Stoffe, aus welchem dieses besteht. Diese Erscheinung kann uns nicht überraschen,

Fig. 91.

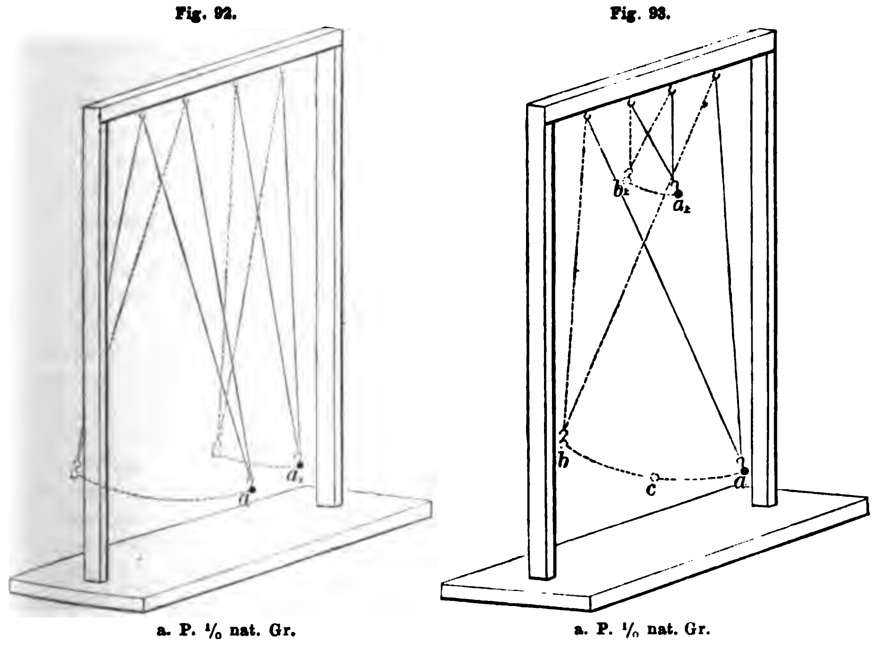


a. P. 1/10 nat. Gr.

sie stimmt vollkommen überein mit den Erscheinungen des freien Falles; die Bleikugel hat eine größere Masse und ist deshalb schwerer in Bewegung zu setzen, als die Gypskugel, sie wird aber auch durch die Schwerkraft stärker angezogen und bewegt sich deshalb ebenso geschwind, wie die leichter zu bewegende, aber auch von einer kleineren Kraft beeinflußte Gypskugel.

Nun bringe man die beiden gleich langen Pendel (die für diesen zweiten Versuch auch beide mit Bleikugeln versehen sein können) in die Stellungen, welche in Fig. 92 mit a und a_1 bezeichnet sind und lasse sie gleichzeitig los. Die beiden Pendel durchlaufen jetzt verschieden große Bögen, das Pendel a aber erhält, weil der erste Theil seiner Bahn viel steiler abwärts geht, als bei a_1, durch die Schwerkraft eine größere Geschwindigkeit und durchläuft seinen längeren Weg in derselben Zeit, welche das Pendel a_1 für seinen kürzeren Weg braucht, die Schwingungsdauer beider Pendel ist

Fig. 92. Fig. 93.



a. P. 1/6 nat. Gr. a. P. 1/6 nat. Gr.

gleich, demnach **ist die Schwingungszeit eines Pendels unabhängig von der Größe der Schwingungsweite** (die **Schwingungsweite** heißt auch **Amplitude**). Dieses Gesetz ist allerdings nicht ganz streng richtig; in Wirklichkeit braucht das Pendel zu dem längerem Wege eine etwas längere Zeit, doch sind die Unterschiede außerordentlich klein; in der Zeit, in welcher ein Pendel, dessen Schwingungsbogen $^1/_{72}$ eines Kreisumfangs (5°) beträgt, 1000 Schwingungen macht, vollbringt ein genau gleich langes mit doppelt so großer Schwingungsweite ohngefähr $998^1/_2$, eines mit viermal so großer Schwingungsweite ohngefähr 993 Schwingungen, ersteres also $1^1/_2$, letzteres 7 Schwingungen weniger. Die Abweichungen, welche diese Verschiedenheit des Schwingungsbogens hervorbringt, sind jedenfalls kleiner als die, welche die Ungenauigkeit der Pendellängen bei unserem Versuche bewirkt.

Ferner hänge man an die vier Haken des Gestelles zwei Pendel in der

aus Fig. 93 ersichtlichen Weise auf, von denen das eine genau viermal so lang ist, als das andere und lasse sie in der mit a und a_1 bezeichneten Stellung gleichzeitig los. Das kleine Pendel macht schnellere Schwingungen, als das große, es kommt nach b_1 in dem Augenblicke, in welchem das große erst nach c kommt und ist, wenn letzteres in b anlangt, schon wieder in a_1. Während das große Pendel von b nach a zurückgeht, macht das kleine wieder eine ganze Hin- und Herbewegung, so daß beide gleichzeitig nach a und a_1 kommen. Zwei Pendel, welche Schwingungen von ungleicher Dauer machen, lassen sich nicht gut gleichzeitig in den Einzelnheiten ihrer Bewegung verfolgen; bei der hier befolgten Aufhängung aber kann man wenigstens bequem sehen, daß nach jeder Schwingung des großen Pendels beide gleichzeitig an die anfängliche Stellung gelangen und daß somit das kleine Pendel gerade doppelt soviel Schwingungen macht, als das große.

Stellt man den Versuch, anstatt in unserem Gestell, in einem Thürstock an, an dessen oberen Querbalken man die Pendel befestigt, so daß man eine größere Höhe zu seiner Verfügung hat, so kann man auch das eine Pendel neunmal oder sechzehnmal so lang machen als das andere, man wird dann finden, daß immer 3, beziehentlich 4 Schwingungen des kleinen Pendels auf eine des großen kommen.

Die Schwingungszeit eines einfachen Pendels ist von seiner Länge abhängig, ein Pendel, welches zweimal so lange Schwingungen machen soll, als ein anderes, muß $4 = 2 \cdot 2$ mal so lang sein, eines, welches dreimal so lange Schwingungen machen soll, muß $9 = 3 \cdot 3$ mal so lang sein und so fort: die Längen verschiedener Pendel verhalten sich wie die Quadrate ihrer Schwingungszeiten. Man kann demnach die Schwingungszeit eines Pendels beliebig groß machen, wenn man ihm die entsprechende Länge giebt. Unter der Schwingungszeit versteht man die Zeit, welche ein Körper braucht, um seine Bahn ganz zu durchlaufen, d. h. so, daß er nach Ablauf dieser Schwingungszeit seine Bewegung ganz in derselben Weise wieder beginnt; die Schwingungszeit des Pendels a Fig. 93 wäre also die Zeit, welche dasselbe braucht, um von a durch c nach b und von da wieder durch c nach a zurückzukommen; es ist also beim Pendel die Schwingungszeit die Zeit zu einem Hinundhergang. Im gewöhnlichen Leben nennt man häufig den Hingang des Pendels eine Schwingung, den Rückgang eine zweite Schwingung; nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauch wäre dann die Schwingungszeit gerade die Hälfte von dem, was wir so nennen wollen; um für beide Begriffe einen bestimmten Ausdruck zu haben, nennt man diese halbe Schwingungszeit des Pendels die Schlagzeit[25]. Ein Pendel, welches zu einem Schlag gerade 1 Secunde (zu einer ganzen Schwingung also 2 Secunden) braucht, heißt ein Secundenpendel; die Länge eines einfachen Secundenpendels, d. h. der Abstand des Mittelpunktes der kleinen Kugel vom Aufhängungspunkte des dünnen Fadens, beträgt $0^m,994$, also nur 6^{mm} weniger, als ein Meter.

Bei den Pendeln, wie sie gebraucht werden, um den Gang der Uhren zu reguliren, kann man zur Aufhängung keinen Faden brauchen, weil eine

---

[25] Bei vielen anderen Schwingungsbewegungen ist die Zeit für den Hin- und Hergang nicht, wie beim Pendel, gleich, sondern verschieden, deshalb muß man die Zeit für beide Bewegungen zusammen die Schwingungszeit nennen, damit für verschiedene aufeinanderfolgende Schwingungen die Zeit gleich ist.

feste Verbindung des Pendels mit einem Theile des Uhrwerkes, dem Sperrhaken, nöthig ist, der in das Räderwerk eingreift; derartige Pendel bestehen deshalb aus einer dünnen Stange von Holz oder Metall, welche oben an einer kleinen Axe oder an einer dünnen Stahlfeder aufgehängt ist und unten ein gewöhnlich linsenförmiges Gewicht trägt. Bei einem solchen zusammengesetzten Pendel hängt die Schwingungszeit nicht mehr blos von der Länge, sondern auch von der Form, der Größe und dem Gewicht der einzelnen Theile ab. Beim einfachen Pendel ist der Faden so leicht, daß er auf die Schwingungsdauer keinen merklichen Einfluß äußern kann, und die Kugel ist so klein, daß ihre Theile nicht sehr verschieden weit vom Aufhängungspunkt abstehen, daß sie also nahezu gleich schnell zu schwingen suchen. Beim zusammengesetzten Pendel haben wir eine Stange von beträchtlichem Gewicht, deren obere Theile dem Aufhängungspunkte nahe sind und deshalb, wenn sie allein vorhanden wären, schneller schwingen würden, als der untere Theil des Pendels; da sich die einzelnen Theile aber wegen ihrer festen Verbindung untereinander nur gleichzeitig bewegen können, so schwingt ein solches Pendel immer etwas schneller, als ein einfaches Pendel von gleicher Länge.

Das Pendel, welches wir bei den Fallmaschinenversuchen benutzt haben, muß ein großes Gewicht besitzen, damit das kleine Schlaggewicht davon mit bewegt werden kann, ohne daß es auf die Schwingungszeit einen merklichen Einfluß äußert. Für unsere jetzigen Versuche reichen Pendelkugeln von der Größe aus, wie man sie in einer gewöhnlichen Kugelform gießt. Als Beispiele verschiedener Stoffe sind oben Blei und Gyps genommen, weil sich diese am leichtesten in Kugelform gießen lassen; alle anderen Stoffe würden sich ganz gleich verhalten; in Bezug auf das Eingießen eines Drahthäkchens ist schon früher das nöthige bemerkt worden; beim Gießen der Gypskugel bestreiche man die Kugelform innen ganz dünn mit Oel.

Ein möglichst einfaches Pendel, also eine Kugel an einem dünnen Faden oder bei sehr großem Maßstabe an einem dünnen Draht zeigt noch eine besondere Eigenthümlichkeit; man kann nämlich den Faden oder Draht mittelst seiner Aufhängung in Drehung versetzen, an welcher dann auch die Pendelkugel theilnimmt, ohne daß die Richtung, in welcher diese schwingt, sich ändert.

Der Versuch läßt sich allenfalls so anstellen, daß man durch das obere Querholz unseres Stativs in der Mitte seiner Länge ein senkrechtes Loch bohrt von solcher Dicke, daß ein Draht sich leicht, aber ohne viel freien Spielraum hindurchschieben läßt. Man biegt einen 8 bis 10^{cm} langen Draht an einem Ende zu einem kleinen runden Haken, schiebt ihn dann von unten her durch das Loch, bis der Haken fast am Holze ansteht, biegt das oben vorstehende Ende des Drahtes rechtwinklig um, also wagrecht und dann, etwa 2^{cm} weiter, wieder senkrecht nach oben, so daß dieser obere Theil des Drahtes eine kleine Kurbel bildet. An den Haken knüpft man ein aus Bleikugel und Faden bestehendes Pendel von solcher Länge, daß die Kugel fast das Fußbrett berührt und setzt dieses Pendel in Schwingungen. Schon oben ist bemerkt worden, daß ein solches Pendel allmählig seine Schwingungsrichtung etwas ändert, das liegt an störenden Nebeneinwirkungen, die nicht leicht zu beseitigen sind und welche hier nicht berücksichtigt werden können. Diese Aenderung der Schwingungsrichtung ist aber nur eine langsame und innerhalb einer mäßigen Zeit bleibt die Richtung fast unverändert, wenn man nur darauf achtet, daß das Pendel gleich Anfangs schön gerade hin- und herschwingt. Wenn man nun, während das Pendel in Bewegung ist, anfängt, die Kurbel zu drehen, so muß sich natürlich der Faden mitdrehen, der an dem Drahte angeknüpft ist und auch die Kugel dreht sich mit, wie man leicht sehen kann, wenn man die eine Hälfte (mit Asphaltlack) geschwärzt hat, die Schwingungsebene aber dreht sich nicht, wenigstens nicht mehr, als wenn die Kurbel ruhig steht und es bleibt sich auch ganz gleich, ob man die Kurbel

nach rechts oder nach links dreht. Nöthig ist für das Gelingen des Versuches nur, daß der Haken so gebogen ist, daß der Anknüpfungspunkt des Fadens genau senkrecht unter dem geraden Theile des Drahtes liegt, welcher die Drehungsaxe bildet, damit der Aufhängungspunkt sich an einer und derselben Stelle um sich selbst dreht und nicht einen Kreis beschreibt. Viel schöner läßt sich der Versuch mit der im nächsten §. zu beschreibenden Schwungmaschine anstellen, welche gestattet, den Pendelfaden leicht 10 bis 12 Mal in der Secunde zu drehen.

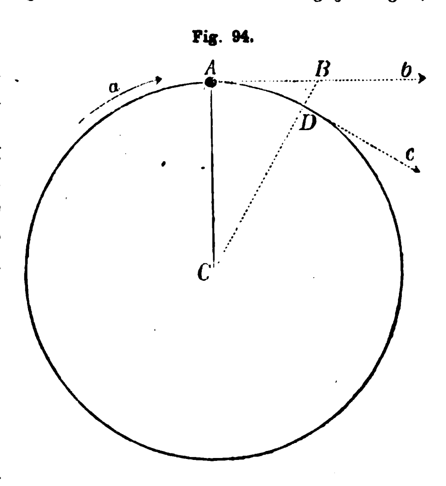
Diese eigenthümliche Aeußerung des Beharrungsvermögens, welche sich darin zeigt, daß die Schwingungsebene des Pendels auch dann noch unverändert bleibt, wenn das Pendel selbst eine Drehung erleidet, wird bei dem Foucault'schen Pendelversuch benutzt, um zu beweisen, daß sich die Erde um ihre Axe dreht. In einem Treppenhause, einer Kirche oder einem anderen hohen Raume wird ein sehr großes Pendel, aus einer 10 bis 50^{kgr} schweren Metallkugel an einem 15 bis 30^{m} langen Drahte mit besonderen Vorsichtsmaßregeln so aufgehängt, daß es immer gerade hin- und herschwingt und nicht in seitliche Schwingungen geräth. Die Erde dreht sich nun bekanntlich in der Richtung von West nach Ost und in dieser Richtung wird also auch der Aufhängungspunkt des Pendels gedreht, dieses selbst aber schwingt unverändert in seiner anfänglichen Ebene, die Erde dreht sich also gewissermaßen unter dem Pendel weg, da sie uns aber als ruhend erscheint, so macht es den Eindruck, als ob sich die Schwingungsebene des Pendels in der umgekehrten Richtung, also von Ost (über Süd) nach West drehte. Das zu diesem Versuche dienende Pendel muß sehr groß sein, damit es mehrere Stunden fortschwingt, ohne neuen Anstoß zu bedürfen; da die Drehung der Erde eine langsame ist, so ist natürlich nur nach längerer Zeit eine deutliche Veränderung in der gegenseitigen Lage der Erde und der Pendelebene zu bemerken. Wir müssen uns hier mit einer ohngefähren Andeutung über diesen interressanten Versuch begnügen, ein genaueres Eingehen auf denselben erfordert mathematische Kenntnisse und eine wirkliche Ausführung derselben ist mit ziemlichen Schwierigkeiten verbunden.

16. **Centrifugalkraft.** Knüpfen wir einen mäßig schweren Stein (etwa 200 bis 500^{gr}) an eine Schnur und schleudern ihn mittelst derselben im Kreise herum, so fühlen wir, daß er an der Schnur zieht und zwar um so stärker, je schneller wir ihn herumschwingen; ist die Schnur nicht fest, so kann sie bei großer Drehungsgeschwindigkeit sogar zerreißen. So wie unser Stein zeigt jeder andere, im Kreise sich bewegende Körper ein Bestreben, sich vom Mittelpunkte des Kreises zu entfernen, dieses Bestreben nennt man die Centrifugalkraft. Wegen des Beharrungsvermögens sucht jeder bewegte Körper sich in unveränderter Richtung fortzubewegen, wird ein Körper aber gezwungen sich im Kreise zu bewegen, so muß er in jedem Augenblicke seine Richtung ändern und die Centrifugalkraft ist nichts anderes, als der Widerstand, welchen das Beharrungsvermögen dieser fortwährenden Richtungsänderung entgegensetzt.

In Fig. 94 mag uns A einen Körper vorstellen, welcher, an dem Faden A C hängend, in der Richtung des Pfeiles a um den Punkt C kreist. In dem Augenblick, in welchem sich unser Körper in der bei A gezeichneten Stellung befindet, hat er die Richtung des Pfeiles b und wenn er nicht durch den Faden gehalten würde, so würde ihn das Beharrungsvermögen in der Richtung dieses Pfeiles, also nach B treiben; der Faden aber zwingt den Körper, nach D zu gehen und muß deshalb einen Zug durch den Körper

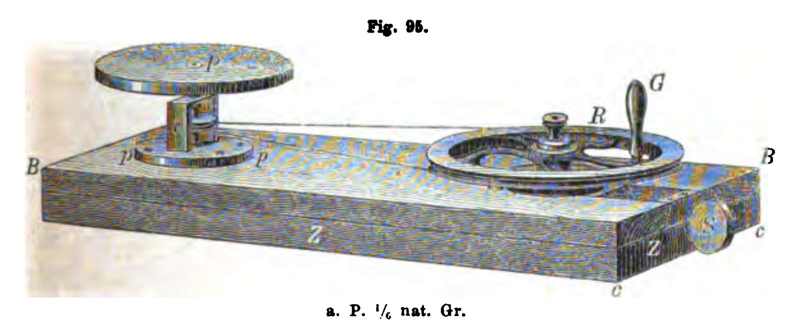
aushalten, der sich in der Richtung des Pfeiles b entfernen möchte. In D angelangt, hat der Körper die Richtung des Pfeiles c, aber auch diese kann er nicht behalten, er wird durch den Faden immer von neuem gezwungen, seine Richtung zu ändern und sich in gleichem Abstande von C zu halten, anstatt sich, wie er es ohne den Faden infolge des Beharrungsvermögen thun würde, in gerader Linie fortzubewegen. Reißt der Faden, so tritt in der That die geradlinige Bewegung sofort ein, ebenso, wenn man den in der Hand gehaltenen Faden los läßt, wie es beim Schleudern eines mit einen Faden versehenen Balles geschieht[26].

Fig. 94.



Zu Versuchen über die Centrifugalkraft dient die Schwungmaschine (Centrifugalmaschine), welche ziemlich verschiedenartig ausgeführt sein kann. Eine recht zweckmäßige Schwungmaschine zeigt Fig. 95; dieselbe ist sehr solid und dauerhaft gebaut und gestattet nicht nur die verschiedenartigsten Centrifugalversuche anzustellen, sondern dient zugleich zu sehr vielen anderen Versuchen, besonders zu solchen aus der Lehre vom Schall und vom Licht, es ist deshalb sehr zu rathen, daß man sich eine solche anschafft, wenn man es irgend ermöglichen kann; es giebt allerdings auch billigere Schwungmaschinen, dieselben sind aber nicht so vielseitig brauchbar und weniger genau und dauerhaft

Fig. 95.



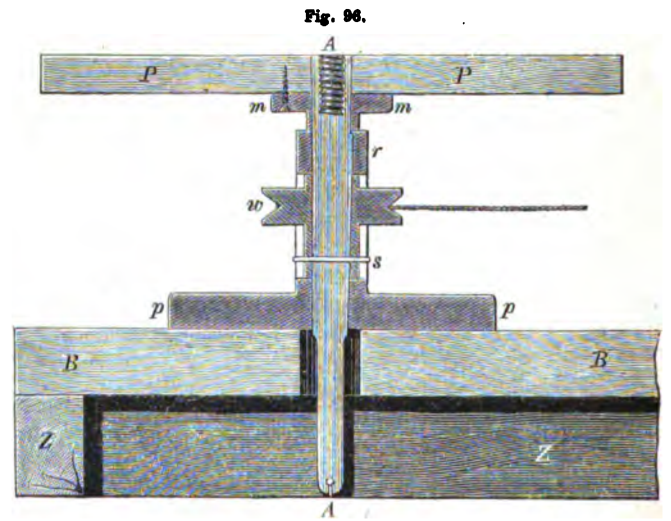
a. P. 1/6 nat. Gr.

ausgeführt. Das Gestell der Maschine ist ein Brett B B, unten mit einer Zarge Z Z (einem viereckigen vorstehenden Rande oder Rahmen) versehen, auf welches links eine kreisrunde Eisenplatte p p festgeschraubt ist. Auf dieser Platte erhebt sich ein rechteckiger Rahmen r, welcher mit ihr aus einem

[26] Die Linie, welche die Richtung angiebt, in der sich der Körper in solchem Falle entfernt, heißt die Tangente des Kreises. Eine Tangente ist eine Linie, welche einen Kreis in einem Punkte berührt und ihn, auch wenn man sie beliebig verlängert, nicht schneidet. Jede Tangente steht rechtwinkelig auf dem Halbmesser, welcher den Kreismittelpunkt mit dem Berührungspunkte verbindet, also b rechtwinkelig auf A C, c rechtwinkelig auf C D.

Stücke gegossen ist; durch den oberen Theil dieses Rahmens und durch die Platte, sowie durch ein Loch des Brettes B B geht eine eiserne Axe, welche oben eine kreisförmige Holzplatte P trägt und in ihrer Mitte mit einem kleinen, eisernen Wirtel (Schnurrädchen) versehen ist. Fig. 96 zeigt diesen Theil des Apparates in etwas größerem Maßstab im Durchschnitt, B B, Z Z, P, p p und r bezeichnen dieselben Theile, wie in Fig. 95, A A ist die Axe, w der Wirtel, der durch einen quer durchgesteckten Stift s so mit der Axe verbunden ist, daß sich beide nur gemeinschaftlich drehen können. Auf die Axe ist eine kleine Messingscheibe m m aufgelöthet und an dieser die Holzscheibe P P mit 3 Schrauben befestigt. Das untere Ende der Axe ist durchbohrt und zwar geht ein Loch wagrecht durch, ein zweites, ziemlich enges, geht von unten herein bis zu dem ersten; in den oberen Theil der Axe ist ein Gewinde geschnitten, in dieses Gewinde paßt eine mit einem messingnen Knopf versehne Schraube, die zur Befestigung verschiedener

Fig. 96.



½ nat. Gr.

Gegenstände dient[27]. Eine Schnur läuft um den Wirtel der Axe und um ein eisernes Schwungrad R (Fig. 95); mittelst eines Griffes G kann man das Schwungrad umdrehen und dadurch die Axe sammt der darauf sitzenden Holzscheibe in schnelle Drehung versetzen. Um die Schnur beliebig anspannen zu können, dient der Schraubengriff S, eine Drehung dieses Griffes verschiebt ein Holzstück, welches das Schwungrad R trägt, nach links oder nach rechts, so daß sich dieses dem Wirtel nähert oder davon entfernt.

Für manche (besonders für optische) Versuche ist es bequem, die Maschine so aufstellen zu können, daß die Platte P nicht wagrecht, sondern

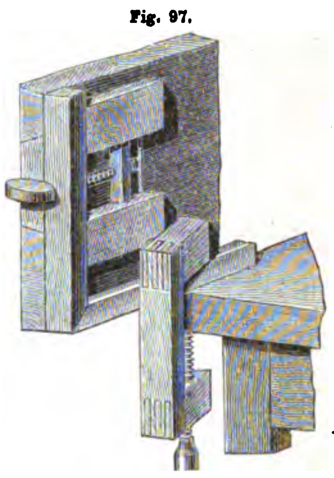
---

[27] Es ist dafür Sorge getragen, daß das Gewinde der Schwungmaschine und das stärkste Gewinde der Schneidkluppe, wie sie aus den am Ende dieses Buches angegebenen Quellen zu beziehen sind, zu einander passen, damit man nöthigenfalls selbst Gegenstände zum Aufschrauben auf die Schwungmaschine einrichten kann.

senkrecht steht; zu diesem Zwecke kann die ganze Maschine auf einem besonderem Fußbrette so befestigt werden, daß sie sich um zwei bei c c angebrachte Charniere drehen und dadurch aufrichten läßt; aber auch ohne diese Vorrichtung kann man die Maschine senkrecht stellen, indem man sie mit einer Schraubzwinge an die Tischkante klemmt, wie es Fig. 97 von der Rückseite zeigt.

Um den im vorigen §. besprochenen Pendelversuch anzustellen, setzt man die Schwungmaschine so auf einen Tisch, daß die unten durchbohrte Axe seitwärts einige Centimeter weit über die Tischkante vorsteht, schiebt das Ende eines etwa 70^{cm} langen Fadens, der unten eine Bleikugel trägt, durch das senkrechte Loch der Axe von unten herein und seitwärts durch das horizontale Querloch ein wenig heraus; mittelst eines durch die Querbohrung gesteckten Hölzchens klemmt man dann den Faden fest. Man setzt nun das Pendel in Schwingungen und fängt darauf an, die Axe mittelst des Schwungrades zu drehen; man beobachtet dabei, daß auch die stärkste Drehung ohne jeden Einfluß auf die Richtung der Pendelschwingungen ist.

Fig. 97.



a. P. 1/6 nat. Gr.

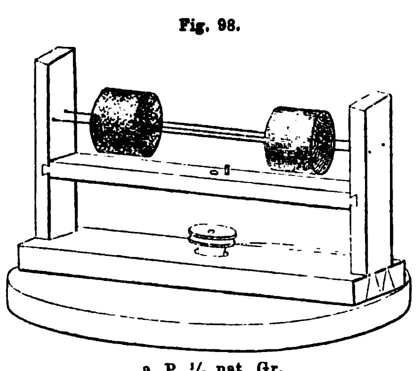
Mit Hülfe des messingnen Schraubenkopfes befestigt man auf der Platte der Schwungmaschine eine Pappscheibe, welche 6 Löcher von etwa 6^{mm} Durchmesser hat. Zwei derselben sind etwa 3, zwei andere 6, die beiden letzten 9^{cm} vom Mittelpunkt entfernt. Auf diese Löcher legt man Bleikugeln oder irgend welche andere Kugeln von gleicher Größe und fängt dann an ganz langsam und allmählig schneller zu drehen. Schon bei mäßiger Drehungsgeschwindigkeit rollen die beiden äußersten Kugeln fort und zwar genau gleichzeitig, wenn sie selbst gleich groß sind, die Löcher, auf denen sie liegen, gleich viel vom Mittelpunkt abstehen und gleichen Durchmesser haben, so daß die Kugeln gleich tief darin einsinken. Bei etwas größerer Drehungsgeschwindigkeit fliegen die beiden nächsten, bei noch größerer Geschwindigkeit die innersten Kugeln fort. Die Kugeln erfordern gleiche Kraft, um sie aus den Löchern herauszutreiben; wenn wir nun beobachten, daß die äußersten Kugeln zuerst fortgetrieben werden, während die im mittleren und kleinsten Abstande noch liegen bleiben, daß also im größten Abstand vom Mittelpunkte die Centrifugalkraft die zum Forttreiben der Kugeln erforderliche Größe erreicht, während sie in kleinerem Abstande noch nicht dazu hinreicht, so schließen wir, daß unter übrigens gleichen Umständen die Centrifugalkraft um so größer ist, je weiter der kreisende Körper vom Mittelpunkte seiner Bahn entfernt ist. Sehen wir nun weiter, daß bei geschwinderem Drehen auch die näheren Kugeln fortfliegen, so beweist uns dies, daß die Centrifugalkraft um so größer wird, je schneller die Drehung vor sich geht oder, mit andern Worten, in je kleinerer Zeit der kreisende Körper seine Bahn durchläuft.

Die Scheibe zu diesem Versuch macht man aus starker Pappe (2 bis 4^{mm}) 20 bis 22^{cm} im Durchmesser, in der Mitte erhält sie ein Loch von 6^{mm} Weite, so daß die Schraube eben hindurchgeht, die anderen 6 Löcher von gleicher Weite bringt man auf einem Durchmesser, d. h. auf einer durch den Mittelpunkt der Scheibe gehenden, geraden Linie an, so daß sich auf jeder Seite 3 befinden. Diese Löcher

mit dem Messer zu schneiden ist etwas unbequem, besser schon lassen sie sich mit dem Korkbohrer machen, der aber dabei sehr stumpf wird, am besten dient ein Durchschlag, der nicht massiv ist, wie die für Metallblech dienenden, sondern der an seinem unteren Ende eine Röhre bildet; die Wandung dieser Röhre ist nach unten zugeschärft. Sollte die Pappe, aus der man die Scheibe machen will, krumm sein oder die Scheibe im Laufe der Zeit krumm werden, so mache man dieselbe mäßig feucht und presse sie zwischen zwei ebenen Brettern, bis sie trocken ist.

Auf die Platte der Schwungmaschine kann ferner ein Rahmen aufgeschraubt werden, von dem Fig. 98 nur den unteren Theil zeigt, der ganze Rahmen ist in Fig. 99 sichtbar. Dieser Rahmen hat 3^{cm} über seinem Fußbrett eine Querleiste, etwa 15^{mm} über dieser Leiste wird er auf beiden Seiten doppelt durchbohrt; die Löcher sollen 10 bis 15^{mm} voneinander abstehen und ziemlich eng sein. Zwei cylindrische Stücke Holz und Kork, 2 bis $2^{cm},5$ lang und ebenso dick, sind jedes von 2 parallelen Löchern durchbohrt, die genau so weit voneinander abstehen, wie die Löcher im Rahmen. Zwei Fäden sind in diesem straff ausgespannt und zugleich so durch die Löcher der beiden Cylinder geführt, daß die letzteren auf den Fäden hin- und hergleiten können; ein 4 bis 6^{cm} langer Faden ist in den Mittelpunkten der einander zugewendeten Endflächen der Cylinder befestigt und hält diese in einem bestimmten Abstande voneinander. Bringt man den Kork und das Holz an zwei gleich weit von der Mitte des Rahmens nach entgegengesetzten Seiten liegende Punkte (wie in Fig. 98 dargestellt) und versetzt die Vorrichtung in Drehung, so hört man bald etwas an den Rahmen anschlagen; läßt man jetzt die Vorrichtung zur Ruhe kommen, so sieht man, daß es das Holz ist, welches sich an den Rahmen begeben und den Kork mit fortgezogen hat, das schwerere Holz hat also eine stärkere Centrifugalkraft entwickelt, als der leichtere Kork; ist der Faden, welcher beide verbindet, so lang, daß der Kork noch auf der dem Holzstück entgegengesetzten Seite der Rahmenmitte bleibt, wenn das Holz schon am Rahmen anliegt, so bleibt der Faden gespannt, weil der Kork sich noch nach der entgegengesetzten Seite zu begeben sucht; ist dagegen der Faden so kurz, daß das Holz, wenn es sich an dem Rahmen anlegt, den Kork über die Mitte hinweg etwas nach seiner Seite zu zieht, so wird dieser dann durch seine eigene Centrifugalkraft weiter nach dieser Seite getrieben und geht bis dicht an das Holz hinan.

Fig. 98.

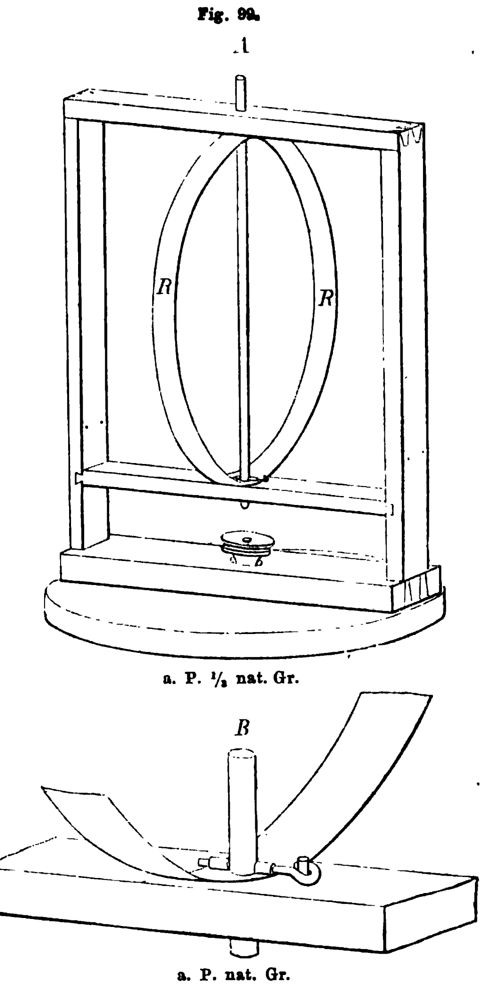


a. P. 1/3 nat. Gr.

Die Löcher in den Rahmen bohrt man am besten mit einem glühenden Draht von 0,5 bis $0^{mm},7$ Dicke, nachdem man den Ort derselben vorher genau angezeichnet hat; den Draht muß man wiederholt von neuem glühend machen, ehe man ein Loch durch bringt. Man drücke nie zu stark auf, damit sich nicht der Draht umbiegt und dadurch das Loch unnöthig erweitert. Für den Korkcylinder wird man leicht einen Flaschenkork von passender Dicke finden, von dem man nur der Länge nach etwas abzuschneiden braucht, den Holzcylinder schnitzt man mit dem Messer aus weichem Holz (am besten aus Lindenholz, das, zwischen weichem und hartem Holze die Mitte haltend, sich ganz besonders zum Schnitzen aus freier Hand eignet) und macht ihn etwa noch mit der Raspel etwas rund; das Durchbohren beider Stücke geschieht

auch mit glühendem Draht, der aber etwas dicker sein muß, etwa 1 bis $1^{mm},5$. Zur Verbindung der Stücke nimmt man einen Seiden- oder Zwirnfaden, den man mittelst einer Nähnadel durch den Kork hindurchzieht und an einem Ende mit einem dicken Knoten versieht, das andere Ende befestigt man am Holz, indem man dieses der Länge nach in der Mitte durchbohrt, den Faden durchschiebt und durch ein hineingetriebenes Hölzchen festklemmt. Den im Rahmen ausgespannten Doppelfaden macht man jedenfalls von Seide; an ein Ende eines einige 30^{cm} langen Fadens knüpft man ein kleines Stückchen Holz oder Draht, daß dieses Ende nicht durch ein Loch des Rahmens geht, dann schiebt man das freie Ende des Fadens durch ein Loch des Rahmens von außen nach innen, führt es durch das Holz und den Kork nach der anderen Seite des Rahmens, dort durch ein Loch von innen nach außen, durch das zweite wieder von außen nach innen, durch den Kork und das Holz nach der ersten Seite zurück und da durch das letzte Loch wieder heraus. Nachdem man dieses Ende des Fadens straff angespannt hat, klemmt man es fest durch ein angespitztes Hölzchen, welches man in das Loch hineinsteckt. Das Hölzchen läßt man $0^{cm},5$, den Faden einige Centimeter vorragen, damit man das Hölzchen bequem wieder herausziehen und bei einer etwaigen Wiederholung des Versuches den Faden leicht wieder einfädeln kann.

Fig. 99.



a. P. 1/3 nat. Gr.

a. P. nat. Gr.

Wird ein weicher Körper um sich selbst gedreht, so kann es geschehen, daß die Centrifugalkraft seine Form verändert. Alle seine Theilchen erhalten das Bestreben, sich von der Drehungsaxe zu entfernen; steht die Axe des Körpers senkrecht, so sucht die Centrifugalkraft denselben nach allen Seiten hin in die Breite zu ziehen und wenn der Körper anfangs kugelförmig war, so wird er dadurch mehr oder weniger abgeflacht werden. Unsere Erde bildet bekanntlich nahezu eine Kugel, aber nicht vollkommen, sie ist in der Richtung von einem Endpunkte ihrer Axe (Pol) zum anderen um etwa 6 Meilen kleiner (1713 M.), als in der darauf senkrechten Richtung von einem Punkte des Aequators zu einem gegenüberliegenden (1719 M.). Diese durch genaue Vermessungen ermittelte Abplattung der Erde ist die Wirkung der Centrifugalkraft, welche in der Umdrehung der Erde um ihre Axe ihren Grund hat. An einer wirklichen Kugel läßt sich

diese Abplattung nicht so leicht zeigen, als an einem kreisförmigen Ringe aus Messingblech R R, Fig. 99 A, welcher in dem Rahmen der Schwungmaschine befestigt wird. Derselbe ist auf eine stählerne Axe gesteckt und unten so mit derselben verbunden, daß er sich mit ihr und mit dem Rahmen drehen muß, oben hat er ein Loch, durch welches die Axe lose hindurchgeht. Dreht man den Ring mit mäßiger Geschwindigkeit, so erscheint er wie eine durchsichtige Kugel (eine Erscheinung, die an drehenden Körpern vielfach in ähnlicher Weise zu beobachten ist und später in der Lehre vom Licht besprochen werden wird), dreht man schneller, so zieht sich der Ring zu einem quergestreckten Kreise (einer Ellipse) und erscheint durch die Drehung als eine plattgedrückte Kugel; hört man auf zu drehen, so rundet er sich infolge seiner Elasticität wieder zu einem richtigen Kreise ab.

Zu dem Ringe nimmt man ganz dünnes Messingblech, womöglich nur $0^{mm},1$, höchstens $0^{mm},2$ dick, von dem man einen 44^{cm} langen, 12 bis 15^{mm} breiten Streifen schneidet. Diesen Streifen locht man in seiner Mitte und 1^{cm} von jedem Ende mittelst des Locheisens, klopft die gelochten Stellen eben und löthet die beiden Enden so aufeinander, daß die Löcher gut aufeinander passen. Die an zwei gegenüberliegenden Punkten des so entstandenen Kreises liegenden Löcher erweitert man mit der Reibahle, bis das als Axe dienende Stahlstäbchen (3 bis 4^{mm} dick) eben leicht hindurch geht. Die zusammengelöthete Stelle des Ringes kommt nach oben, zu beiden Seiten des unteren Loches löthet man kleine, 4^{mm} lange, 1^{mm} weite Röhren aus Messing auf, die man herstellt, indem man je ein 8^{mm} langes, 4^{mm} breites Messingblechstreifchen nach vorherigem Ausglühen um einen 1^{mm} starken Draht herum wickelt, man bedient sich dabei der Flachzange, um das Blech dicht an den Draht anzudrücken. Diese Röhrchen dienen zur Befestigung des Ringes an der Axe und dem Rahmen, wie aus Fig. 99 B ersichtlich ist. In die beiden Querhölzer des Rahmens bohrt man genau in der Mitte Löcher von solcher Weite, daß die Axe mäßig streng hineinpaßt; die 16 bis 17^{cm} lange Axe bekommt 1^{cm} über ihrem unteren Ende ein Loch von 1^{mm} Weite, durch dieses Loch und die beiden Röhrchen des Messingringes steckt man einen 2^{cm} langen Draht, welcher an einem Ende zu einer kleinen Oese gebogen ist; diese Oese kommt auf ein an dem Querholz des Rahmens hervorstehendes Stiftchen, damit der Ring und die Axe sich mit dem Rahmen drehen müssen. Dieses Stiftchen ist ein in das Holz getriebener Drahtstift, dessen Kuppe man mit der Beißzange entfernt hat.

Schöner läßt sich die Abplattung einer Kugel zeigen an einem schwebenden Oeltropfen. Bringt man in einen solchen Oeltropfen (vergl. §. 3) einen Draht mit einer kreisförmigen Blechscheibe und versetzt diesen in Drehung, so wird durch die Adhäsion das Oel mit gedreht und plattet sich schon bei ganz geringer Geschwindigkeit stark ab, dreht man etwas schneller, so reißt es sogar von der Blechscheibe los und bildet einen, dieselbe umgebenden Ring, hört man dann sofort auf zu drehen, so zieht sich der Ring wieder zu einer Kugel zusammen, die sich um die Blechscheibe herumlegt und man kann den Versuch wiederholen.

Einen schön gerade gerichteten Draht von 2 bis 4^{mm} Dicke und etwa 20^{cm} Länge versieht man mit einer kleinen Messingblechscheibe von 12^{mm} Durchmesser, die in der Mitte gelocht und so auf den Draht gelöthet wird, daß sie sich 1^{cm} von dem einen Ende desselben befindet. Den Draht schiebt man durch eine 15^{cm} lange Glasröhre von solcher Weite, daß er sich darin leicht, aber ohne viel zu schlottern, drehen läßt und steckt auf das aus der Glasröhre vorstehende Ende einen kleinen, etwa 6^{mm} dicken Kork. Ein 4^{cm} langes Stückchen Kautschuckschlauch wird über diesen Kork und über das untere Ende der Schwungmaschinenaxe geschoben, um eine etwas nachgiebige Verbindung zwischen beiden zu schaffen. Die Schwungmaschine wird auf eine auf dem Tische befindliche Unterlage (eine kleine Kiste, ein Bänkchen oder dergl.) gestellt, so daß die Blechscheibe des herunterhängenden Drahtes einige Centimeter über der

Tischfläche schwebt. Nachdem man die Scheibe auf beiden Seiten und den Draht 1^{cm} oberhalb und unterhalb der Scheibe mit Oel eingerieben hat, daß dieses ordentlich benetzt, klemmt man die Glasröhre in einen Retortenhalter derart fest, daß ihr unteres Ende 2^{cm} über die Blechscheibe kommt und sie selbst schön senkrecht und gerade unter der Schwungmaschinenaxe steht. Nun bringt man das Gefäß für die Weingeistflüssigkeit an seine Stelle, so daß die Blechscheibe in der Mitte des Gefäßes steht, füllt dieses und bringt dann mit der Pipette eine Oelkugel von 3^{cm} Durchmesser an die Blechscheibe. Zeigt das Oel eine Neigung, sich größerentheils auf die obere Seite der Blechscheibe zu begeben, so setze man dem Flüssigkeitsgemisch etwas Weingeist zu, geht das Oel zu sehr nach unten, etwas Wasser. Um den Oeltropfen nur abzuplatten darf man nur langsam drehen, man benutzt dazu nicht die Kurbel des Schwungrades, sondern legt die Spitze eines Fingers nahe am Rande auf die Holzplatte der Centrifugalmaschine und führt ihn mäßig geschwind im Kreise herum; dreht man schneller (mit Hülfe der Kurbel), so bildet das Oel einen um die Blechscheibe freischwebenden Ring. Sobald der Ring gebildet ist, höre man auf zu drehen, sonst zerreißt er in einzelne Tropfen, die sich nicht von selbst wieder vereinigen. Will man nur die Abplattung, nicht auch die Ringbildung sehen, so kann man allenfalls die Schwungmaschine entbehren, man biegt dann das oben aus der Glasröhre vorstehende Ende des Drahtes zu einer kleinen Kurbel, die man ohne weiteres mit der Hand bewegt. Soll der Oeltropfen auch aus einiger Entfernung gut sichtbar sein, so färbt man das dazu verwendete Oel, indem man etliche Stückchen Alkannawurzel hineinbringt und diese eine Zeit damit in Berührung läßt.

Fig. 100.

a. P. 1/4 nat. Gr.

Eine kreisförmige Scheibe a b Fig. 100 von 25^{cm} Durchmesser aus starker Pappe (3 bis 4^{mm} dick) ist in der Mitte mit einer halbkreisförmigen Drahtöse versehen. Mittelst eines einige 60^{cm} langen Eisendrahts von ohngefähr $1^{mm},5$ Dicke, der an beiden Enden zu ringförmigen Haken von etwa 1^{cm} Durchmesser gebogen ist, hängt man dieselbe in der aus der Figur ersichtlichen Weise an die durchgehende Axe der Schwungmaschine, welche, wie zu dem Pendelversuch, über die Tischkante vorragend aufgestellt wird. Der Natur der Aufhängung nach kann die Scheibe nicht ganz senkrecht hängen, der obere Theil (a) wird etwas von dem Draht abstehen, in der Figur nach links, während der untere Theil etwas nach rechts liegt. Sobald man nun anfängt zu drehen, sucht die Centrifugalkraft alle Theile möglichst weit von der Drehungsaxe (d. h. von der Linie, um welche sich die Scheibe dreht, also von der Senkrechten durch den Mittelpunkt) zu entfernen, die Scheibe stellt sich zunächst schief (c d) und sehr bald ganz wagrecht (e f).

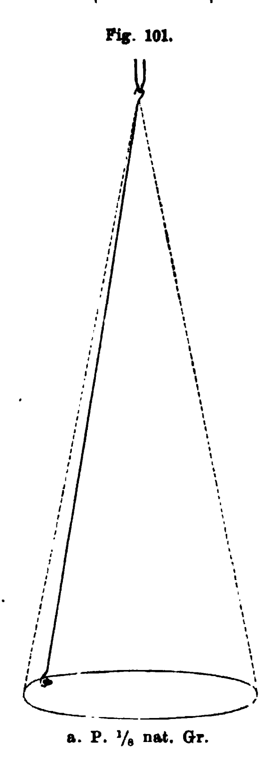
Die Drahtöse befestigt man einfach so, daß man die beiden Enden des passend gebogenen Drahtes durch in die Scheibe gestochene Löcher steckt und unterhalb rechtwinkelig umbiegt, auch wol die umgebogenen Enden mit der Flachzange etwas zusammendreht.

Hängt man eine solche Scheibe nicht in der Mitte, sondern am Rande auf, indem man den Draht in ein nahe am Rande durchgeschlagenes Loch einhakt, so dreht sie sich anfangs in verticaler Stellung, sobald man aber einigermaßen schnell dreht und die Scheibe nur im geringsten aus ihrer senkrechten Lage gebracht wird, zieht auch jetzt noch die Centrifugalkraft die gegenüberliegenden Theil der Scheibe möglichst weit von der Drehungsaxe

weg und stellt die Scheibe fast wagrecht, wie es in Fig. 101 angedeutet ist. In dieser wagrechten Lage läßt sich die Scheibe eine ziemliche Zeit, aber nicht unbegrenzt lange erhalten, der Draht sucht die ganze Scheibe nach der Seite zu ziehen, so daß dieselbe allmählig anfängt unruhig zu laufen.

Dieser interressante Versuch zeigt, daß bei einiger Drehungsgeschwindigkeit die Centrifugalkraft ziemlich groß wird, sie überwindet hier mit Leichtigkeit die Schwerkraft, welche die Scheibe senkrecht zu stellen sucht. Unsere Versuche haben uns gezeigt, daß die Centrifugalkraft um so größer ist, je weiter ein kreisender Körper von der Drehungsaxe absteht und je schwerer derselbe ist, und zwar ist die Centrifugalkraft diesen beiden Größen direct proportional; ein Körper, welcher dreimal so schwer ist, als ein anderer, hat unter übrigens gleichen Verhältnissen eine dreimal so große Centrifugalkraft und ein Körper, welcher fünfmal so weit vom Mittelpunkte absteht, als ein anderer, gleich schwerer, hat bei gleicher Umlaufszeit eine fünfmal so große Centrifugalkraft.

Fig. 101.



a. P. 1/8 nat. Gr.

Weiter haben wir gesehen, daß die Centrifugalkraft auch mit der Drehungsgeschwindigkeit wächst, doch ist sie dieser nicht einfach proportional. Bei doppelter Drehungsgeschwindigkeit (halb so großer Umlaufszeit) ist sie viermal, bei dreimal so großer Geschwindigkeit (ein Drittel so großer Umlaufszeit) neunmal so groß, als bei einfacher Geschwindigkeit, es ist mit anderen Worten die Centrifugalkraft dem Quadrat der Umlaufsgeschwindigkeit proportional[28].

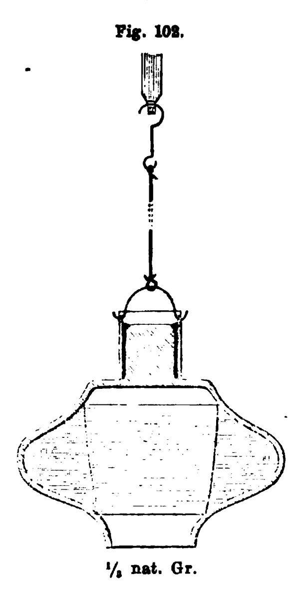
Eine praktische Verwendung findet die Centrifugalkraft starrer Körper bei den Regulatoren der Dampfmaschinen. An einer senkrecht stehenden Welle, welche von der Maschine in Drehung versetzt wird, hängen zwei Arme herunter, welche unten schwere Eisenkugeln tragen; je schneller die Welle umläuft, um so weiter entfernt die Centrifugalkraft die Arme mit den Kugeln von ihr; da die Arme an ihrem oberen Endpunkt befestigt sind, müssen sich dabei die Kugeln heben. Auf der Welle ist eine Hülse verschiebbar, welche durch zwei Arme mit den Armen, an denen die Kugeln hängen, verbunden ist; wenn sich nun die Kugeln durch die Centrifugalkraft

[28] Man findet die Centrifugalkraft eines im Kreise geschwungenen Körpers, wenn man sein Gewicht multiplicirt mit dem (in Metern ausgedrückten) Abstande desselben von der Drehungsaxe und mit der Zahl 4,025 und das Product dividirt durch das Quadrat der in Secunden ausgedrückten Umlaufszeit. Ein Stein von 500^{gr} Gewicht, der an einem $1^{m},5$ langen Faden in 2 Secunden einmal im Kreise geschleudert wird, spannt also den Faden mit einer Kraft von $\frac{500 \cdot 1,5 \cdot 4,025}{2 \cdot 2} = \frac{3018,75}{4} = 754^{gr},69$ und eine 20^{gr} schwere Bleikugel, welche 6^{cm} ($0^{m},06$) von der Drehungsaxe entfernt auf der Schwungmaschine befestigt wäre, würde sich bei 12 Umdrehungen in der Secunde ($^1/_{12}$ Secunde Umlaufszeit) mit einer Kraft von $\frac{20 \cdot 0,06 \cdot 4,025}{^1/_{12} \cdot {^1/_{12}}} = 4,83 \cdot 144 = 695^{gr},52$ von der Drehungsaxe zu entfernen suchen.

heben, so heben sie auch diese Hülse. Durch eine ziemlich zusammengesetzte Vorrichtung ist die Hülse mit einer in dem Dampfrohr der Maschine angebrachten Klappe derart verbunden, daß diese Klappe die Zuströmung des Dampfes zur Maschine vermindert, wenn die Hülse über eine bestimmte Höhe gehoben wird, was eintritt, sobald die Maschine anfängt, zu schnell zu gehen. An den meisten Dampfmaschinen (Locomotiven und Locomobilen ausgenommen) findet sich dieser Centrifugalregulator, so daß man denselben leicht zu sehen bekommen kann; wenn jemand ein Modell davon zu haben wünscht, so wird er mit einiger Ueberlegung leicht finden, wie sich ein solches an einem senkrecht durch den Rahmen der Schwungmaschine gesteckten Stahlstäbchen anbringen läßt; natürlich wird man sich dabei nur auf die beiden Arme mit den Kugeln beschränken.

Auf tropfbare und luftförmige Körper wirkt die Centrifugalkraft in ganz derselben Weise, wie auf starre, und gerade diese Wirkungen werden praktisch häufig verwendet. Sie sollen gleich hier mit betrachtet werden, während das sonstige Verhalten tropfbarer und gasiger Körper späteren Abschnitten vorbehalten bleibt. Einer Wirkung der Centrifugalkraft auf eine Flüssigkeit haben wir schon bei den Abplattungsversuchen gedacht.

Fig. 102.



$1/_4$ nat. Gr.

Ein flaches, rundes Glasgefäß (der Oelbehälter einer Petroleumlampe) hat eine mäßig weite Oeffnung und dieser Oeffnung gegenüber einen kurzen Stiel, der in eine mit einem Drahtbügel versehene Blechhülse eingekittet ist; Fig. 102 zeigt das Gefäß mit nach unten gewendeter Oeffnung im Durchschnitt. In den Drahtbügel wird eine feste Schnur (2 bis 3^{mm} stark) von 50 bis 60^{cm} Länge geknüpft, deren oberes Ende mittelst eines Drahthakens in die Axe der Schwungmaschine gehängt wird. Füllt man das Gefäß in aufgerichteter Stellung bis höchstens zur Hälfte mit Wasser, das man durch einige Tropfen Fuchsinlösung roth gefärbt hat, um es besser sichtbar zu machen, verschließt das Gefäß durch einen flachen Kork, hängt es in der aus der Figur (in welcher aber der Kork weggelassen ist) ersichtlichen Weise an der Schwungmaschine auf und dreht erst langsam und allmählich schneller und schneller, so wird das Wasser durch die Centrifugalkraft von der Mitte weg nach den äußersten Theilen des Gefäßes getrieben und läßt schließlich den mittelsten Theil des Gefäßes ganz frei, wie es in der Figur angedeutet ist.

Wenn das Wasser die in der Figur gezeichnete Lage angenommen hat, so könnte der Kork ganz fehlen, ohne daß das Wasser ausliefe; nun ist es zwar nicht möglich, aus dem in rascher Drehung begriffenen Gefäße den Kork zu entfernen, ohne die Drehung desselben aufzuhalten und dadurch die Wirkung der Centrifugalkraft aufzuheben, es läßt sich aber auf andere Weise die Anwendung des Korkes umgehen. In der Lehre vom Luftdruck werden wir ausführlich besprechen, daß sich ein mit einer Flüssigkeit gefülltes Gefäß umkehren läßt, ohne auszulaufen, wenn es nur mit einem steifen Papier bedeckt ist. Man schneidet aus starkem Zeichenpapier oder aus einer alten Spielkarte ein 10^{cm} langes, 5^{cm} breites Viereck, legt dasselbe mit seiner Mitte auf die Oeffnung des knapp halb gefüllten Gefäßes und drückt es

mit den Fingern der linken Hand leicht an, während man mit der rechten das Gefäß umkehrt; sobald die Oeffnung ganz nach unten gekommen ist, so daß das Papierviereck wagrecht liegt, kann man dieses loslassen. Das Umkehren nimmt man über einem (tiefen) Teller vor, um einige dabei auslaufende Tropfen aufzufangen; den Teller läßt man dann auch unter dem verkehrt aufgehängten Gefäße stehen, um bei einem etwaigen Unfalle das Wasser aufzufangen. Man dreht nun, anfangs ganz langsam und recht stetig; dreht man gleich anfangs zu geschwind, so dreht sich die Schnur zusammen und verkürzt sich dabei, bildet auch wol knotige Wülste; ist durch allmählich zunehmende Drehungsgeschwindigkeit die Centrifugalkraft so groß geworden, daß alles Wasser nach dem Rande des Gefäßes getrieben ist und beim Hineinsehen in das Gefäß von oben das Papierstück ganz frei erscheint, so nähert man von der Seite einen Finger dem Papierstück, bis dieses an denselben anstößt und dadurch weggeschleudert wird. Ist man mit der linken Hand nicht sicher genug, um die richtige Stelle zu treffen, so läßt man die Kurbel der Schwungmaschine auf einige Augenblicke los und benutzt die rechte zum Entfernen des Papiers; wenn die Drehung ziemlich rasch ist, so dreht sich das Ganze lange genug infolge des Beharrungsvermögens fort, daß man Zeit hat, das Papier zu entfernen und wieder nach der Kurbel zu greifen, ehe das Wasser anfängt auszulaufen. Will man den Versuch beendigen und hört also auf zu drehen, so bewegt sich das Glasgefäß mit dem Wasser länger fort, als die Schwungmaschine, dabei wird die Schnur soviel zusammengedreht, daß sie sich beträchtlich verkürzt; man nehme dann den untergesetzten Teller in die Hand und gehe damit dem Gefäße nach, damit dieses, wenn die Schnur ja abreißen sollte, nicht hoch fällt und sich selbst oder den Teller zerbricht, und damit das Wasser nicht über den Tellerrand hinausgeschleudert wird, wenn es anfängt auszulaufen; man hüte sich aber, das drehende Gefäß mit dem Teller wirklich zu berühren.

Das Gefäß ist 10 bis 11^{cm} breit (ein sogenanntes Bassin zu einem Fünflinienbrenner, bei fast jedem Glaser oder Klempner zu haben) und soll möglichst flach sein, die Hülse wird aus Zinkblech zusammengelöthet, der Bügel aus Eisendraht gebogen und in die in die Hülse geschlagenen Löcher eingehakt. Der Stiel des Gefäßes wird vorsichtig erwärmt, bis Siegellack darauf schmilzt, mit einer gleichmäßigen Schicht davon überzogen, abkühlen gelassen, dann die erwärmte Blechhülse aufgeschoben und nach abermaligem Erkalten das hervorgequollene Siegellack mit dem Messer entfernt.

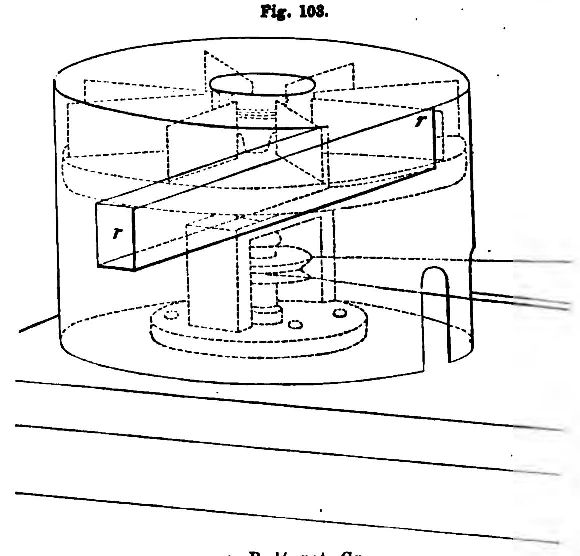
Bei den Schleudermaschinen (Centrifugaltrockenmaschinen), wie man sie in Waschanstalten, Färbereien und dergl. gebraucht, wird ein metallnes Gefäß in Form eines flachen Cylinders sehr schnell um seine senkrechte Axe gedreht, das Gefäß hat siebartig durchlöcherte Wände und wird mit den zu trocknenden Stoffen gefüllt; die Centrifugalkraft treibt das in ihnen enthaltene Wasser mit großer Gewalt durch die Oeffnungen des Gefäßes heraus; damit dasselbe nicht umherspritzt, ist das siebartige Gefäß von einem rings geschlossenen Mantel umhüllt.

Nähert man der in rascher Drehung begriffenen Platte der Schwungmaschine von der Seite die Hand, so fühlt man, wie die Luft von ihr nach allen Seiten weggetrieben wird; die der Platte zunächst liegenden Lufttheilchen werden von ihr im Kreise mit herumgeführt, bis sie in der Richtung der Tangente fortfliegen. Um die Luft besser in Kreisbewegung zu versetzen, schraubt man auf die Schwungmaschinenplatte eine 16^{cm} im Durchmesser haltende Pappscheibe auf, welche mit 8 senkrechten, strahlenartig auseinanderlaufenden Streifen besetzt ist (in Fig. 103 punktirt angedeutet). Ueber diese Vorrichtung stülpt man eine cylindrische Papphülse von solcher Weite und Höhe, daß zwischen ihr und der Strahlenscheibe seitlich und oben nur soviel Zwischenraum bleibt, daß letztere gedreht werden kann, ohne anzustreifen. In der Cylinderwandung sind unten zwei thürförmige Ausschnitte, um die Schnur durchzulassen, oben im Deckel ist ein kreisförmiges

Loch von 4^{cm} Durchmesser und seitlich ist an die Hülse in der Richtung der Tangente ein viereckiges Rohr r r angesetzt. Dreht man die Maschine, so muß die zwischen den strahlenförmig angeordneten Wänden befindliche Luft die Drehung mitmachen und wird durch die Centrifugalkraft als ein kräftiger Strom durch das Rohr r r herausgetrieben, während durch das Loch in der Mitte des Deckels neue Luft ins Innere der Hülse strömt.

Aehnliche Vorrichtungen, die **Ventilatoren** oder **Centrifugalgebläse** benutzt man im Großen zur Erzeugung von Luftströmen, um damit Schmiedefeuer anzublasen, in Trockenräumen einen kräftigen Luftstrom zu erzeugen und dergl. mehr.

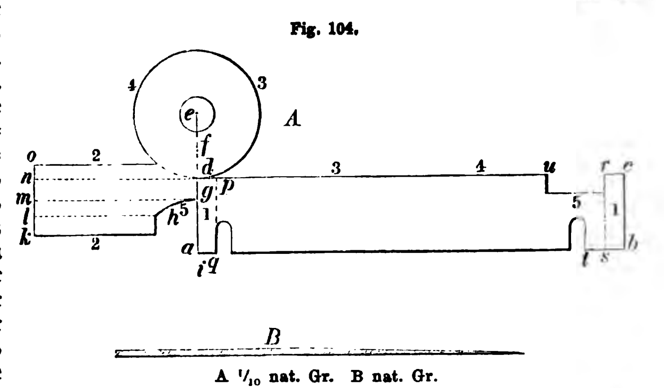
Fig. 103.



a. P. 1/3 nat. Gr.

Die senkrechten Streifen auf der Pappscheibe werden für unseren Zweck hinlänglich fest, wenn man sie aus Zeichenpapier 1^{cm} breiter schneidet, als sie schließlich hoch werden sollen, dann 1^{cm} breit scharf umbricht, die umgebrochenen Theile strahlenartig auf die Pappscheibe aufleimt und nach dem Trocknen die noch schief liegenden Streifen mit der Hand in senkrechte Stellung biegt. Für die Hülse, die man aus ziemlich dünner Pappe macht, ist in Fig. 104 das Netz in verkleinertem Maße entworfen; um dasselbe in richtiger Größe zu zeichnen und dann zusammenzufügen, berücksichtige man folgende Punkte: 1) Der Umfang des Deckels ist 3,14 mal so groß, als der Durchmesser, man rechne aber die Länge des den Umfang der Hülse bildenden Streifens etwa 1^{cm} mehr, als diesem Verhältniß entspricht, weil wegen der Pappdicke der äußere Umfang der Hülse etwas größer ist, als der des Deckels. 2) Die Krümmung g h ist ein Kreisbogen, der von dem Punkte i aus geschlagen wird, i ist von g um den Halbmesser des Kreises e d entfernt. 3) Die in der Figur punktirten Linien sind blos einzuritzen, die ausgezogenen wirklich durchzuschneiden; die strichpunktirten Linien (—·—·—) sind weder zu ritzen, noch zu schneiden, sie dienen nur zur Entwerfung

Fig. 104.



A 1/10 nat. Gr. B nat. Gr.

des Netzes. 4) Das Stück b c r s wird auf das Stück a d p q mit der ganzen Fläche aufgeleimt, nachdem man die Kanten b c und a g mit dem Messer dünn zugeschärft (wie bei B im Querschnitt angedeutet), und durch Biegen mit der Hand dem Streifen a d c b nahezu die Form gegeben hat, die er später bekommen soll. Wollte man das Stück b c r s weglassen und die Kanten a d und r s unmittelbar aufeinander kleben, so würde an der Zusammenfügungsstelle das Ganze leicht eine Kante bekommen und nicht ordentlich fest werden. 5) Die beim Zusammenkleben aufeinandertreffenden Theile des Netzes sind mit gleichen Ziffern bezeichnet. 6) Für eine Strahlenscheibe von 16^{cm} Durchmesser sind folgendes die Dimensionen des Netzes:

d e = g i = 8^{cm},5	k l = n o = 2^{cm},0
d r = a s = 54^{cm},5	e f = 2^{cm},0
c r = b s = 2^{cm},5	r u = 7^{cm},4
a d = b c = 10^{cm},0	a q = s t = 2^{cm},5
m n = l k = 2^{cm},5	

Breite der thürförmigen Ausschnitte 2^{cm},0. Höhe der thürförmigen Ausschnitte 4^{cm},0.

Größerer Dauerhaftigkeit wegen kann man die zusammenzufügenden Kanten mit schwarzem Leinwandband bekleben, nachträglich überzieht man das Ganze mit Glanzpapier, um ihm ein besseres Aussehen zu geben.

Fig. 105.



a. P. 1/6 nat. Gr.

Eine hübsche Spielerei ist die Centrifugalbahn Fig. 105. Eine Rinne von V-förmigem Querschnitt geht ein ziemliches Stück steil schief abwärts und ist unten zu einem Kreise (richtiger ausgedrückt: zu einer Schraubenwindung) zusammengebogen. Legt man oben in die Rinne eine Kugel von Blei oder Glas, so durchläuft dieselbe infolge der Geschwindigkeit, welche sie beim Herabrollen in der geneigten Rinne erlangt hat, den gebogenen Theil der Rinne, ohne herabzufallen, weil sie durch die Centrifugalkraft stärker an die Rinne angedrückt, als von der Schwere abwärts gezogen wird.

Die Rinne wird aus schwacher Pappe gemacht. Mit einem Halbmesser von 15^{cm} beschreibt man einen Kreis (Fig. 106 A), den man durch zwei aufeinander rechtwinklige Durchmesser e d und f g in vier gleiche Theile theilt; mit demselben Halbmesser beschreibt man von d und g Kreisbögen, die sich in h schneiden, dann zieht man die Linie c h, welche das Kreisviertel d g in i halbirt; i g theilt man mit dem Zirkel in vier gleiche Theile und verbindet den ersten Theilpunkt k mit c. Dann beschreibt man aus dem Mittelpunkte c des Kreises mit einem Halbmesser von 13^{cm} noch den Bogen a b a b, das durch die ausgezogenen Linien umschlossene Pappstück giebt die Hälfte des gebogenen Theiles der Rinne, die zweite Hälfte wird durch ein ganz gleiches Stück gebildet. Bei jedem Stück läßt man an beiden Enden ein Stückchen Pappe stehen (in der Figur durch punktirte Linien angedeutet), das zur

Verbindung mit den geraden Theilen der Rinne dient. Die beiden bogenförmigen Pappstücke legt man glatt aufeinander und verbindet sie am äußeren Rande durch einen aufgeleimten Streifen von festem Papier, von dem Fig. 106 B ein Stück zeigt; die Ausschnitte in dem Streifen sind nöthig, damit sich das Papier glatt auf die beiden gekrümmten Pappstücke kleben läßt; man achte darauf, das Papier nicht zu dick und mit nicht zu dünnflüssigem Leim zu bestreichen, damit dieser nicht zwischen die Pappen hineinläuft und sie mit ihren Flächen verklebt. Nachdem der Leim trocken geworden, fange man an die beiden Enden des jetzt doppelten Pappstreifens einander zu nähern, dabei öffnet sich das Ganze von selbst zu einer Rinne, die man so stark krümmt, daß sie etwas mehr als eine ganze ($1^{1}/_{8}$) Schraubenlinie bildet; die in Fig. 105 mit a und b bezeichneten Stellen entsprechen den gleichbezeichneten Stellen der Fig. 106, von a bis b werden die beiden nebeneinanderliegenden Stücken der Rinne verbunden durch einen dem Streifen B ähnlichen, aber nicht mit wirklichen Ausschnitten, sondern nur mit Schlitzen versehenen Papierstreifen, welcher auf die beiden aneinanderliegenden Ränder der Rinne geklebt wird.

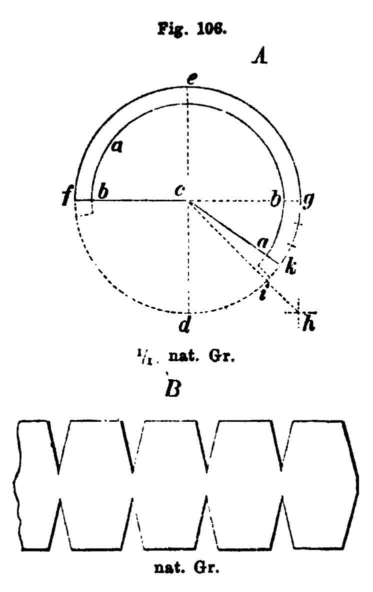


Fig. 106.
$^{1}/_{1}$ nat. Gr.
nat. Gr.

Ferner schneidet man sich zwei 4^cm breite Pappstreifen, den einen 6^cm, den andern 60^cm lang; dieselben werden der Länge nach in der Mitte eingeritzt und dann die Hälften jedes Streifens so gegeneinander gebogen, daß sie die für die geraden Stücke der Rinne erforderliche Form annehmen; schließlich leimt man sie an den gekrümmten Theil fest und zwar so, daß der lange, gerade Theil **in** das Ende der Rinne, der kurze gerade Theil **außen an** dieselbe angeklebt wird, damit die rollende Kugel nirgends an einem Vorsprung anstoßen kann; auch ist es gut, das Ende des langen, geraden Theils und das andere Ende des gekrümmten Theiles etwas zuzuschärfen.

An der mit a bezeichneten Stelle leimt man von unten einen Kork ein, der so dachförmig zugeschnitten ist, daß er in den Raum zwischen den beiden Rinnen hineinpaßt; um die Vorrichtung an dem Gestell Fig. 35 zu befestigen, braucht man dann nur eine recht starke Stecknadel oder einen dünnen, langen Drahtstift bei a zwischen die sich berührenden Rinnen, durch den Kork hindurch und ein wenig in das Fußbrett hineinzutreiben; das obere Ende des geraden Rinnenstücks wird an die Säule des Stativs blos angelehnt oder auch leicht mit einer Stecknadel oder einem Stiftchen befestigt.

Molekularverhältnisse der starren Körper.

17. Festigkeit, Elasticität. Um einen starren Körper zu zerbrechen oder zu zerreißen, brauchen wir eine gewisse, je nach der Form und sonstigen Beschaffenheit verschieden große Kraft; wir überzeugen uns bei jedem Versuche, einen solchen Körper zu zertheilen, daß zwischen seinen einzelnen Theilen eine gewisse Anziehungskraft herrscht, die wir schon früher mit dem Namen **Cohäsion** belegt haben. Diese Cohäsion unterscheidet sich wesentlich von manchen anderen Anziehungskräften, z. B. von der Schwerkraft. Die Erde sucht jeden Körper nach sich hin zu ziehen, er mag wenige Centimeter oder Tausende von Meilen von ihrer Oberfläche entfernt sein. Die Wirkung der Cohäsion aber hört auf, sobald die Theile eines Körpers nur im geringsten

von einander entfernt sind. Selbst wenn wir die Theile eines eben zerbrochenen Körpers möglichst genau wieder aneinander passen, haften sie nicht mehr zusammen; jeder Körper erleidet beim Zerbrechen eine, wenn auch noch so kleine Veränderung seiner Form und die getrennten Theile schließen deshalb beim Wiederzusammenlegen nie wieder so genau aneinander, daß nicht winzig kleine Zwischenräume bleiben sollten; die vorher verbunden gewesenen Theilchen bleiben in einer, wenn auch ganz geringen Entfernung von einander und auf diese Entfernung hin wirkt die Cohäsion nicht mehr. Solche Kräfte, welche, wie die Cohäsion, immer nur von einem Theilchen eines Körpers bis zu dem unendlich nahe liegenden, nächsten Theilchen, oder mit anderen Worten, immer nur von einem Molekül zum anderen wirken, nennen wir Molekularkräfte. Zu diesen gehören außer den schon erwähnten Kräften, der Cohäsion und Expansion, insbesondere noch die Elasticität und die Adhäsion.

Bei starren Körpern äußert sich die Cohäsion in verschiedener Weise, je nachdem wir versuchen, den Zusammenhang der Theile des Körpers auf verschiedene Weise zu trennen. Im Allgemeinen bezeichnet man die Cohäsion der starren Körper als Festigkeit und unterscheidet einzelne Arten von Festigkeit, so die absolute oder Zerreißungsfestigkeit, die relative oder Zerbrechungsfestigkeit und andere. Eine besondere Art der Festigkeit ist auch die Härte. Wir nennen einen Körper hart, wenn er dem Eindringen eines anderen Körpers einen bedeutenden Widerstand entgegensetzt. In einen Klumpen feuchten Thones können wir mit einigem Kraftaufwande hineingreifen, der Widerstand, den der Thon dem Eindringen der Hand entgegensetzt, ist verhältnißmäßig sehr gering, wir nennen deshalb den Thon weich. Um zu entscheiden, welcher von zwei Körpern der härtere ist, braucht man nur zu versuchen, welcher von beiden in den anderen einzudringen, d. h. welcher den anderen zu ritzen vermag. Der feuchte Thon ist weicher als die Oberfläche unserer Hand, gebrannter Thon dagegen ist härter, an einem thönernen Scherben können wir uns leicht eine Wunde reißen. Nach dem Glühen langsam abgekühlter Stahl läßt sich mit einem eckigen Glasstück ritzen, er ist weicher als Glas; glühend in Wasser abgelöscht wird er so viel härter, daß er leicht das Glas ritzt. Der härteste von allen bekannten Körpern ist der Demant, er ritzt alle anderen Körper und wird von keinem anderen geritzt[29].

Wenn wir versuchen, einen Körper zu zerbrechen, zu zerreißen oder dergl., so werden wir immer zuerst eine gewisse Formveränderung bewirken, ehe der Körper wirklich entzwei geht. Eine frische Weidenruthe biegt sich sehr stark, ehe sie bricht, ein trockner Holzstab (ein Blumenstäbchen) verträgt keine so starke Biegung, ein Schieferstift läßt sich nur ganz unmerklich biegen, wenn er nicht brechen soll. Ein Streifen Papier zerreißt, wenn man versucht ihn stark zu dehnen, ein Kautschuckschlauch läßt sich auf das Dreifache seiner gewöhnlichen Länge ausziehen, ohne zu reißen. Die Eigenschaft der Körper, eine beträchtliche Veränderung ihrer ursprünglichen Form zu vertragen ohne

---

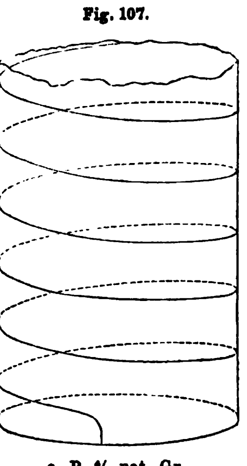
[29] Zum Zwecke der Vergleichung der Härte verschiedener Mineralien hat man eine Härtescala aufgestellt, d. i. eine Reihenfolge von Mineralien, von denen jedes folgende härter ist, als das vorhergehende; nämlich: 1. Talk (Speckstein), 2. Steinsalz, 3. Kalkspath (Marmor), 4. Flußspath, 5. Apatit (Phosphorit), 6. Orthoklas (Feldspath), 7. Quarz (Bergkrystall), 8. Topas, 9. Korund (Smirgel), 10. Demant.

entzwei zu gehen, heißt ihre Zähigkeit; zähe sind also die Weidenruthe, das Kautschuck, ferner Leder (insbesondere nasses), glühendes Schmiedeeisen und andere Stoffe.

Der Zähigkeit gerade entgegengesetzt ist die Sprödigkeit, d. i. die Eigenschaft, keine beträchtliche Verbiegung zu ertragen, ohne entzwei zu gehen; spröde ist der Schiefer (überhaupt die meisten Steine), das Glas, gehärteter Stahl u. s. f. (Körper, welche sich nicht dehnen lassen, ohne zu zerreißen, nennt man in der Regel kurz.)

Wenn wir an verschiedenen Körpern Formveränderungen vornehmen, so zeigen sie sich nicht nur insofern verschieden, als der eine eine beträchtliche, der andere nur eine geringe Formveränderung verträgt, sondern auch insofern, als bei einem Körper diese Veränderung eine bleibende, bei einem anderen nur eine vorübergehende ist. Ein Bleidraht, etwa 1^m lang und 1^{mm} dick, läßt sich durch Ziehen mit der Hand um einige Centimeter verlängern und verkürzt sich um ganz wenig wieder, wenn man ihn losläßt, ein ausgeglühter Kupfer- oder Messingdraht kann leicht in jede beliebige Form gebogen werden; ein hartgezogener oder durch Hämmern hartgemachter Messingdraht hingegen geht nach dem Biegen immer etwas zurück, er nähert sich wieder etwas seiner früheren Form, wenn er sie auch nicht ganz wieder annimmt. Solche Körper, welche bei Formveränderungen das Bestreben zeigen, ihre frühere Form wieder anzunehmen, heißen elastisch, dieses Bestreben selbst: Elasticität oder Federkraft. Sehr elastisch ist das Kautschuck; ein Kautschuckschlauch, den man auf das Doppelte seiner ursprünglichen Länge ausgezogen hat, schnellt, sobald man ihn losläßt, wieder fast ganz auf seine anfängliche Länge zusammen. Eine Uhrfeder nimmt, auch nach bedeutenden Verbiegungen, wieder sehr genau ihre frühere Gestalt an. Irrthümlicher Weise wird oft geglaubt, daß Sprödigkeit und Elasticität entgegengesetzte Eigenschaften seien, während sie doch sehr wol zusammen vorkommen können, wie z. B. beim Glas. Glas läßt sich nur wenig biegen, ohne zu brechen, die geringe Biegung aber, die man ihm ertheilen kann, verschwindet ganz vollkommen wieder, wenn man es losläßt. Um die Biegsamkeit des Glases gut sehen zu können, muß man einen dünnen Streifen davon haben. Ein schmaler, langer Streifen von Fensterglas läßt sich mit den Fingern schon merklich biegen, ganz besonders schön aber eignet sich für diesen Zweck eine gläserne Spiralfeder, die aus einem Glascylinder mit Sprengkohle hergestellt wird. Eine solche Spirale, Fig. 107, faßt man an beiden Enden an je einer Stelle zwischen Daumen und Zeigefinger und zieht sie vorsichtig auseinder, man kann (ohne sie zu zerbrechen) so stark ziehen, daß zwischen je zwei Gängen ein etwa 2^{mm} breiter Spalt entsteht, giebt man mit den Fingern nach, so schließen sich die Sprünge völlig wieder zusammen.

Fig. 107.



a. P. ⅓ nat. Gr.

Eine solche Glasspirale läßt sich aus jedem Lampencylinder herstellen, am besten aus einem weiten Cylinder, wie man solche bei Gaslampen und an kleinen runden Laternen verwendet und wie sie an den alten Studirlampen gebräuchlich waren. Um sich die

Schraubenlinie einigermaßen vorzeichnen zu können, klebt man an einem Ende des Cylinders einen Faden fest, am besten mit ein wenig Wachs, das man durch Drücken zwischen den Fingern erweicht hat, wickelt dann diesen Faden so um den Cylinder, daß die einzelnen Windungen höchstens 1^{cm} voneinander abstehen und klebt endlich auch das andere Ende des Fadens fest. Mit einer Feder und Tinte zieht man dann eine Linie derart, daß sie immer zwischen je zwei benachbarten Fadenwindungen hinläuft; nach dem Trocknen der Tinte entfernt man den Faden. Damit die Tinte nicht zu sehr breit läuft, muß das Glas vorher ordentlich trocken sein und man darf die Feder nicht zu voll nehmen. Von einem Feilstrich aus, den man an einem Ende des Cylinders macht, führt man dann mit der Sprengkohle einen Sprung und zwar am besten so, daß er wiederum zwischen je zwei Windungen der mit Tinte gezogenen Linie hinläuft, also da, wo vorher der Faden gelegen hat. Den Sprung auf der vorgezeichneten Linie selbst hinzuführen ist unbequem, weil man ihn gerade da nicht gut sehen kann. In der Regel gelingt es nicht, den Sprung zuletzt bis an den Rand des Glases zu führen, für den vorliegenden Zweck schadet das gar nicht.

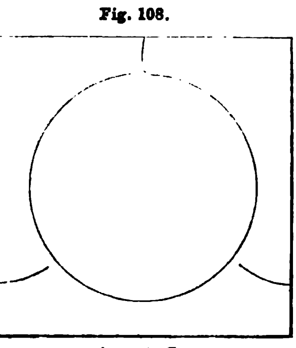
18. Adhäsion. Im vorigen Paragraphen wurde erwähnt, daß die Theile eines zerbrochenen Körpers beim Wiederzusammenbringen nicht aneinander haften, weil sie nicht mehr genau zusammen passen. Richten wir aber zwei Körper so her, daß sie so genau als irgend möglich aneinanderschließen, so zeigt sich beim Zusammenbringen auch eine Anziehung, die so weit gehen kann, daß einer an den anderen hängen bleibt. Diese Anziehung, welche sich bei unmittelbarer Berührung der Theilchen zweier Körper äußert und also auch eine Molekularkraft ist, wird *Adhäsion* oder *Anhangskraft* genannt.

Am besten kann man bei starren Körpern die Adhäsion beobachten, wenn dieselben Platten mit wenigstens je einer sehr ebenen Oberfläche bilden, sogenannte *Adhäsionsplatten*. Man kann dieselben aus verschiedenen Stoffen herstellen, so aus verschiedenen Metallen, aus Marmor, Glas u. s. w. Bringt man zwei solche Platten mit ihren ebenen Flächen, die zuvor sorgfältig von Staub gereinigt worden sind, zusammen, am besten indem man die eine von der Seite her mit gelindem Druck auf die andere hinaufschiebt, so ist eine gewisse Kraft erforderlich, um sie wieder zu trennen und zwar eine um so größere, je genauer die Platten eben sind, in je mehr Punkten sie sich also wirklich berühren. Von *brauchbaren* Adhäsionsplatten verlangt man wenigstens, daß sie einige Zeit aneinander hängen bleiben, wenn man die oberste in wagrechter Lage in die Höhe hebt, *sehr gute* Adhäsionsplatten erfordern sogar eine beträchtliche Gewalt, wenn sie sollen auseinandergerissen werden. Hat man mehrere Arten von Adhäsionsplatten, so kann man sich leicht überzeugen, daß verschiedenartige Stoffe, wie etwa Glas und Messing, ebenso gut Adhäsion aneinander zeigen, als gleichartige Stoffe, wie Glas und Glas.

Aus Glas kann man sich Adhäsionsplatten selbst machen, und zwar mit Aufwand einiger Mühe und Geduld sogar recht gute. Die Herstellung derselben verlohnt um so mehr, als man dieselben später (bei den Versuchen über den Druck des Wassers auf Gefäßwände) sehr nützlich verwenden kann. Man verschafft sich zuerst zwei runde Scheiben von etwa 6^{cm} Durchmesser aus Spiegelglas oder recht ebenem Fensterglas. Manche Glaser sind darauf eingerichtet, runde Glasscheiben mit dem in eine Art Stangenzirkel gespannten Demanten zu schneiden, meist aber wird man das Rundschneiden selbst machen müssen und zwar geschieht es dann mit Sprengkohle. Zuerst beschreibt man auf Papier einen Kreis von der gewünschten Größe, deckt darauf das entweder viereckig geschnittene oder auch ganz unregelmäßige Glasstück und zeichnet auf dieses mit Tinte den Kreis nach, dann führt man wieder einen Sprung vom Rande des Glases herein und möglichst weit herum. Selbst wenn der

Sprung ganz herum geht, gelingt es nicht immer, die runde Scheibe ohne weiteres aus dem umgebenden Glase herauszubringen, man muß dann noch von mehreren Stellen des Randes her Sprünge bis möglichst nahe an den Kreis führen, wie in Fig. 108 angedeutet ist, dann kann man ohne Gefahr das äußere Glas stückweise abbrechen. Bleibt an der Stelle des Kreises, wo man zu sprengen angefangen hat, eine scharfe Ecke, Fig. 109, so entfernt man dieselbe durch Kröseln, d. h. durch Wegbrechen einzelner, etwa millimetergroßer Stückchen mittelst der Flachzange oder auch mittelst eines Schlüsselbartes, der einen Einschnitt hat, in den man das abzubrechende Stückchen einschiebt. (Mit einiger Uebung lernt man selbst größere Stücke Glas durch Kröseln zu entfernen, ohne das Arbeitsstück zu verderben.) Die zurechtgeschnittenen Scheiben werden nun zunächst am Rande herum abgeschliffen, was mittelst eines ganz gewöhnlichen, gehörig benetzten Schleifsteines geschieht, den man am besten von einem Gehülfen ziemlich langsam umdrehen läßt, während man die zu schleifende Scheibe daran hält und zwar so, daß sie ohngefähr dem Schleifsteine selbst parallel ist. Natürlich muß man die Scheibe immer langsam drehen, wenn sie nicht eckig werden soll; außerdem halte man sie nicht immer an eine Stelle des Steines, sondern gehe über die Breite desselben hin und her, weil man ihn sonst durch eingeschliffene Rinnen verdirbt. Im vorliegenden Falle soll das Abschleifen nicht sowol den Gläsern eine genaue Kreisform geben, worauf für unseren Zweck nicht viel ankommmt, als vielmehr ihnen die scharfen Kanten nehmen; immerhin mag man des guten Aussehens wegen darauf achten, sie recht hübsch rund zu bekommen.

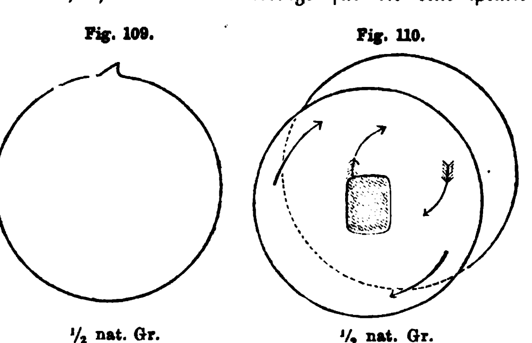
Fig. 108.



1/2 nat. Gr.

Die genau ebene Oberfläche giebt man den Platten, indem man sie mit Smirgel aufeinander schleift. Auf ein Brettchen, das als Unterlage für die eine Platte dienen soll, schlägt man drei oder vier Drahtstifte, deren Köpfe man abkneipt, so ein, daß die Platte gerade dazwischen paßt und durch sie vor dem Verschieben gesichert ist. Die andere Platte bekommt einen Handgriff aus einem 2,5 bis 3^{cm} langen Stück von braunem Siegellack (Packlack), das man auf die vorsichtig über der Lampe erwärmte Platte aufdrückt und mit derselben erkalten läßt. Sowol auf Glas als auf Metall haftet nämlich das Siegellack nur, wenn dieselben bis zum Schmelzpunkte des Siegellacks erwärmt sind, ehe man dasselbe aufbringt. Als Schleifmittel benutzt man etwa die im Handel als Nr. 70, Nr. 93, Nr. 100 und Flower bezeichneten Smirgelsorten. Man bringt zunächst von Nr. 70 eine kleine Messerspitze voll auf die auf dem Brettchen festliegende Platte, giebt einige Tropfen Wasser hinzu und führt nun die bewegliche Platte mit mäßiger Reibung darauf im Kreise herum, so daß sie immer am Rande ein wenig vorsteht, wie in Fig. 110 angedeutet ist, während man sie zugleich immer um sich selbst dreht. Die gefiederten Pfeile deuten die fortschreitende Bewegung der Platte, die ungefiederten ihre Drehung um sich selbst an. Dieses Schleifen setzt man, dafern nöthig, unter zeitweiligem Zubringen von wenig Smirgel und Wasser zunächst so lange fort, bis beide Glasplatten auf ihrer ganzen Oberfläche gleichmäßig matt geworden sind. Alsdann wäscht man sie ab, trocknet sie und reibt

Fig. 109. Fig. 110.



1/2 nat. Gr. 1/2 nat. Gr.

die eine mit einem Tropfen Baumöl und etwas **Mennige** (ein feinpulveriger, rother Farbstoff) ein; der Ueberzug von Mennige soll ganz dünn und gleichmäßig sein. Wenn man nun die zweite Glasplatte aufdrückt und sie höchstens eine Spur auf der ersten verschiebt, so erkennt man daran, ob sie überall gefärbt wird, ob die beiden Platten bereits aufeinander passen. Werden nur einzelne unregelmäßig vertheilte Stellen gefärbt, so sind die Platten einfach weiter zu bearbeiten, zeigt sich aber, daß die Platten sich nur in der Mitte berühren, so muß man beim weiteren Schleifen mit der beweglichen Platte einen kleineren Kreis beschreiben. Sollte dagegen das Abfärben der Platte rund am Rande herum stattfinden, was darauf hindeuten würde, daß dieselben in der Mitte hohl wären, so kann dies seinen Grund darin haben, daß sich das nicht sehr dicke Glas durch den Druck auf den Siegellackgriff etwas biegt, man fasse dann die bewegliche Scheibe, anstatt am Griff, am Rande durch Anlegen der fünf Fingerspitzen und beschreibe damit einen etwas größeren Kreis. Sobald man es erreicht, daß die eine Platte ihre Farbe der anderen überall gleichmäßig mittheilt, aber auch keinesfalls früher, gehe man zu dem nächst feineren Smirgel Nr. 93 über. Man wird es jetzt bald dahin bringen, daß die zuerst ziemlich rauhen Flächen ein feines Matt zeigen; sobald dieses ganz gleichmäßig erscheint, prüft man wieder mit Mennige, ob die Platten noch ordentlich eben sind und geht, wenn die Prüfung befriedigend ausfällt, zu Nr. 100 und schließlich in ähnlicher Weise zum Flowersmirgel über. Schon nach dem Schleifen mit Nr. 100 zeigen die Platten Spuren von Adhäsion; dem Flower setzt man nur wenig Wasser zu und schleift damit so lange, bis die Masse fast trocken wird. Die Platten sollen nun, gut gewaschen und getrocknet, schon ziemlich fest aneinander haften und eine Spur von Spiegelung zeigen, wenn man ganz flach darüber hin nach einem hellen Gegenstande, bei Tage nach einem Fensterkreuz oder bei Abend nach einer Lampenflamme, hinsieht. Endlich werden die Platten mit **Pariser Roth**, einem feinpulverigen, rothbraunen Polirmittel (Eisenoxyd) einigermaßen polirt, wobei man ebenfalls wenig Wasser anwendet und bis fast zum Trockenwerden reibt.

Die ganze Arbeit des Schleifens dauert etwa 2 Stunden, sollte das erste Plattenpaar mißlingen, so lasse man sich nicht die Mühe verdrießen ein zweites herzustellen. Gut gelungene Platten haften nicht nur in wagrechter Lage aneinander, sondern auch, wenn man mittelst des Siegellackgriffes die eine senkrecht hält.

Um zeigen zu können, daß auch zwischen verschiedenen Körpern Adhäsion stattfindet, stellt man eine Platte aus Gyps her. Der käufliche, gemahlene, **gebrannte Gyps** hat die Eigenschaft, daß er, mit Wasser zu einem dünnen Brei angerührt, bald zu einer starren Masse erhärtet. Am besten verwendet man auf zwei Raumtheile Gyps einen Raumtheil Wasser. Man rührt also etwa 2 gestrichene Eßlöffel voll Gyps mit einem Eßlöffel voll Wasser in einem kleinen Näpfchen oder einer Obertasse zusammen und gießt das Gemisch rasch auf eine wagrecht liegende Adhäsionsplatte, deren geschliffene Seite nach oben gewendet ist. Nach ein Paar Stunden kann man die erhärtete Platte abnehmen und nach Verlauf eines Tages ist sie genügend trocken. Eine solche Gypsplatte zeigt nur schwache Adhäsion, bleibt aber doch etwa eine Secunde an der Glasplatte hängen, wenn man diese wagrecht hält.

Sehr viele Arten, Körper aneinander zu befestigen, beruhen auf der Adhäsion. Sehr geschickte Mechaniker vermögen Glasplatten so genau eben zu schleifen, daß sie durch bloße Adhäsion dauernd aneinander befestigt werden können. In den meisten Fällen aber bringt man zwischen zwei nur ohngefähr aufeinanderpassende Flächen einen flüssigen oder weichen Stoff, welcher sich diesen Flächen genau anschließt und dann durch Abkühlung oder durch Austrocknen zu einer festen Masse erstarrt. Das Leimen, Kitten, Löthen und ähnliche Befestigungsweisen sind solche Benutzungen der Adhäsion.

Durch Umwickeln von Papier um ein rundes Stäbchen oder einen Kork von etwa 1^{cm} Dicke stelle man sich eine Form her, in welcher man einen kleinen Bleicylinder von etwa $1^{cm},5$ Höhe gießt. An zwei solchen Cylindern mache man je eine Endfläche durch Beschneiden mit einem scharfen Messer

ganz blank, setze die beiden Flächen aufeinander und presse dann die beiden Stücke im Schraubstock möglichst fest zusammen, so daß sie auf die Hälfte ihrer ursprünglichen Länge zusammengedrückt werden, dabei schließen sich die beiden Flächen so genau aneinander, daß die Stücke ziemlich fest aneinander haften.

Frische, staubfreie Schnittflächen von Kautschuck zeigen eine besonders starke Adhäsion, weil sich das weiche Kautschuck schon bei mäßigem Druck gut zusammenfügt; schneidet man einen nicht zu stark vulcanisirten, am besten einen schwarzen, Kautschuckschlauch mit einer scharfen Scheere quer durch, so sind in der Regel beide Theile durch Zusammenkleben der Schnittränder verschlossen und müssen durch einen gelinden Druck mit den Fingern geöffnet werden. Hütet man sich dabei, die Schnittflächen selbst zu berühren, setzt nun die beiden Theile wieder genau zusammen und drückt sie ganz gelinde aufeinander, so vereinigen sie sich wieder. Läßt man dann den Schlauch einige Zeit liegen, ehe man daran zieht, so erhält man eine leidlich feste Verbindung der getrennten Theile.

B. Hydrostatik und Hydrodynamik,

d. i. Lehre vom Gleichgewicht und von der Bewegung tropfbarer Körper.

19. Niveau, Druckfortpflanzung, Boden- und Wanddruck. Die Theilchen der tropfbaren Körper besitzen nur einen geringen Zusammenhang (vgl. §. 4) und sind insbesondere sehr leicht untereinander zu verschieben, die Form der tropfbaren Körper ist sehr leicht zu verändern; bekanntlich nimmt eine Flüssigkeit immer die Form des Gefäßes an, in welchem sie sich befindet. Ist ein Gefäß nicht ganz angefüllt, so begiebt sich die Flüssigkeit, weil sie, wie jeder andere Körper, schwer ist, möglichst weit nach unten und läßt den obersten Theil des Gefäßes frei. Die freie Flüssigkeitsoberfläche bildet im Ruhezustand immer eine wagrechte Ebene[30], d. h. eine Ebene, welche mit der Richtung der Schwerkraft einen rechten Winkel bildet. Diese wagrechte Flüssigkeitsoberfläche wird Spiegel oder Niveau genannt.

Hängt man ein kleines Gewicht (eine Bleikugel, ein Steinchen oder dergl.) an einem dünnen Faden auf, dessen oberes Ende in einen Retortenhalter eingeklemmt oder an dem Statif Fig. 35 befestigt ist und läßt das Gewicht und noch ein kleines Stück des Fadens in ein größeres Wassergefäß (eine Schüssel) eintauchen, so fällt das Spiegelbild des über dem Wasser befindlichen Fadens genau in die Verlängerung dieses Fadens, d. h. es fällt mit dem unter Wasser befindlichen Theile desselben zusammen; dies kann nur geschehen, wenn die Wasserfläche wirklich einen rechten Winkel mit dem Faden macht und der durch das Gewicht gespannte Faden giebt die Richtung der Schwerkraft an.

Der Faden wird zweckmäßig mit etwas Oel getränkt oder mit ein wenig Talg eingerieben, damit sich nicht das Wasser an ihm in die Höhe zieht.

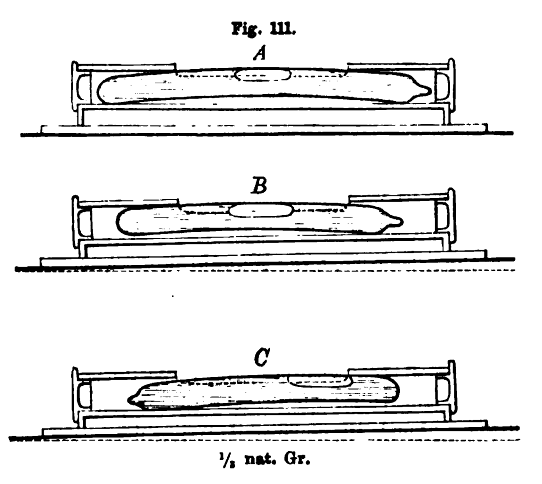
Die Eigenschaft der Flüssigkeiten, immer den obersten Theil eines nicht ganz gefüllten Gefäßes leer zu lassen, benutzt man bei den Wasserwagen,

[30] Eine Abweichung von der Ebene findet sich am Rande, diese soll erst später (in §. 23) berücksichtigt werden.

(Libellen), die zum Wagrechtstellen von Flächen dienen. Es sind dies Gefäße, deren oberer, durchsichtiger Theil schwach gewölbt ist. Je nach der Form unterscheidet man Dosenlibellen und Röhrenlibellen.

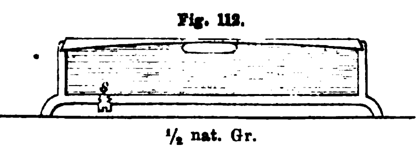
Fig. 111 A zeigt eine Röhrenlibelle im Durchschnitt; der wesentlichste Theil ist ein schwach nach oben gekrümmtes[31], an den Enden zugeschmolzenes Glasrohr, welches bis auf eine kleine Blase mit Weingeist (oder Aether, sogenanntem Schwefeläther, der noch leichter beweglich ist) gefüllt ist. Dieses Glasrohr ist in ein Messingrohr eingekittet, das oben in der Mitte einen Ausschnitt hat, um die Luftblase sehen zu lassen und dessen Enden auf einem kleinen, in der Regel eisernen Lineale stehen. Bei wagrechter Stellung des Lineales soll die Blase in der Mitte des Ausschnittes stehen, diese Mitte ist meist durch Striche angedeutet, welche in das Glasrohr eingeätzt sind. Um eine solche Libelle auf ihre Richtigkeit zu prüfen, stellt man sie auf eine ebene Unterlage, etwa auf ein starkes Lineal und bringt es, wenn die Blase nicht zufällig in der Mitte steht, durch Unterschieben von kleinen Holzkeilen oder dergl. unter das zu tiefe Ende der Unterlage dahin, daß die Blase die Mittelstellung annimmt. Dann dreht man, ohne an der Unterlage etwas zu ändern, die Libelle um, so daß das zuerst rechts befindliche Ende links zu stehen kommt; ist die Libelle richtig, so steht die Blase nach dem Umdrehen wieder in der Mitte. Ist die Libelle unrichtig, also die Unterlage nicht wagrecht, wenn die Blase in der Mitte steht (Fig. 111 B), so steht nach dem Umkehren die Blase nach der Seite zu, auf welcher das Rohr zu hoch in der Fassung liegt (Fig. 111 C). Die Röhrenlibelle giebt natürlich nur an, ob die Linie, welche der Länge der Röhre entspricht, wagrecht ist, auf einer wagrechten Fläche muß die Libellenblase in die Mitte gehen, in welcher Richtung man auch die Libelle aufsetzt.

Fig. 111.



½ nat. Gr.

Fig. 112.



½ nat. Gr.

Die Dosenlibelle, von der Fig. 112 den Durchschnitt giebt, ist eine flache, runde Messingdose, deren unterer Rand gut eben gedreht und deren dichtschließender Glasdeckel außen eben, innen etwas nach oben gewölbt ist[32].

---

[31] Die Krümmung ist bei gewöhnlichen Libellen derart, daß das Rohr ein Stück eines Kreisbogens von 2 bis 10^m Durchmesser bildet, in den Figuren ist die Krümmung zu stark gezeichnet, um sie deutlich hervortreten zu lassen.

[32] Die Wölbung des Deckels gewöhnlicher Dosenlibellen bildet ein Stück einer Kugelfläche von etwa 1 bis 2^m Durchmesser.

Die Mitte des Deckels ist durch einen kleinen, eingeätzten Kreis von 10 bis 15^{mm} Durchmesser bezeichnet. Durch eine mit der Schraube s verschlossene Oeffnung wird die Dose mit Weingeist gefüllt. Hat man die Dosenlibelle auf eine ebene Unterlage gestellt und diese so gerichtet, daß die Blase in der Mitte steht, so darf die Blase ihre Stellung nicht ändern, wenn man die Libelle langsam um sich selbst dreht.

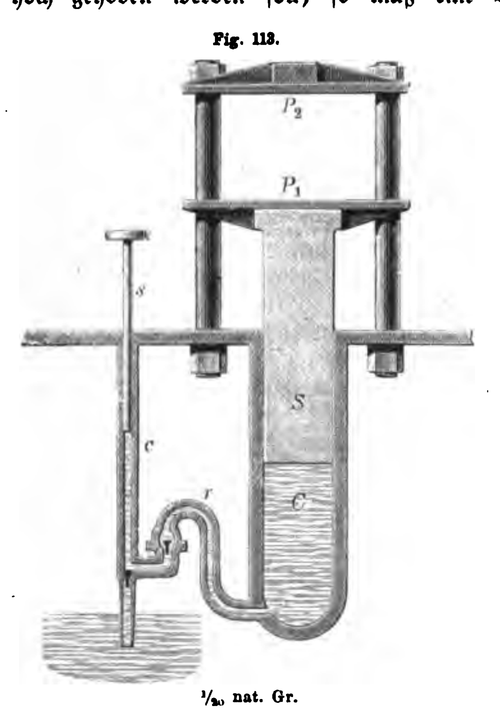
Drückt man mit der Hand auf einen festen Körper, etwa einen auf den Boden gestemmten Stock, ein auf dem Tische liegendes Buch oder dergl., so pflanzt sich der Druck durch den Körper hindurch fort; der Stock drückt den Boden, das Buch den Tisch, und zwar (wenn wir von dem Gewicht des Körpers absehen) gerade so stark, wie wir auf den betreffenden Gegenstand drücken. Etwas anders verhalten sich weiche oder aus kleinen, losen Theilen bestehende Massen; drücken wir eine auf dem Tische liegende Lehm- oder Thonkugel, so drückt diese nicht nur auf den Tisch, sondern sie weicht auch seitlich aus, sie quetscht sich breit. Preßt man einen Papiersack oder eine Düte zu derb voll Mehl oder Sand, so kann man leicht ein Aufreißen an der Seite bewirken, wenn der untere Theil durch Aufsetzen auf den Tisch unterstützt ist; auch hier weichen die gedrückten Theilchen seitwärts aus. Bei einer Flüssigkeit, deren einzelne Theile nur einen außerordentlich geringen Zusammenhang haben, findet dieses seitliche Ausweichen noch leichter und vollkommener statt. *In einer Flüssigkeit pflanzt sich ein Druck geradezu nach allen möglichen Richtungen fort* und zwar ganz gleichmäßig, d. h. so, daß alle gleich großen Flächen gleich stark gedrückt werden. Geschieht es beim Abziehen von Wein oder Bier zufällig, daß eine Flasche, deren Kork leicht, aber doch dicht schließend, in den Hals hineingeht, bis dicht unter den Kork gefüllt wird, also gar keine Luft mehr darin zurückbleibt, so kann ein mäßiger Schlag auf den Kork die Flasche zersprengen. Der Druck des Korkes auf die Flüssigkeit pflanzt sich in dieser so fort, daß jeder Theil der inneren Oberfläche der Flasche, der so groß ist, wie der Querschnitt des Korkes, einen ebenso großen Druck anzuhalten hat, als der Kork äußert. Bei einer gewöhnlichen Weinflasche beträgt der Querschnitt des Halses und somit des Korkes etwa $3\square^{cm}$, die innere Oberfläche etwa $450\square^{cm}$; diese Oberfläche enthält also $\frac{450}{3} = 150$ Flächen von der Größe des Korkquerschnitts und hat somit im ganzen einen 150mal so starken Druck auszuhalten, als dieser. Man kann auch sagen: *der Druck pflanzt sich in einer Flüssigkeit so fort, daß die Größe des Drucks auf verschiedene Flächen der Größe der Flächen proportional ist.*

Auf der eigenthümlichen Druckfortpflanzung in Flüssigkeiten beruht die *hydraulische Presse*, von deren Wirkungsweise Fig. 113 eine Andeutung geben soll[33]. Zwei hohle Cylinder von sehr verschiedenem Durchmesser, c und C sind durch eine Röhre r verbunden. In jedem Cylinder bewegt sich wasserdicht ein Stempel; der kleinere s kann mittelst der Hand oder einer besonderen Maschine kräftig abwärts gedrückt werden, der größere trägt oben eine wagrechte Preßplatte P_1 und soll diese gegen eine zweite, in unveränderlicher Stellung befestigte Preßplatte P_2 drücken. Der Raum unterhalb der beiden Stempel (Kolben) ist mit Wasser gefüllt; wird nun der

[33] Die wirkliche Einrichtung einer hydraul. Presse ist zu complicirt, um hier vollständig betrachtet zu werden.

kleinere Kolben nach unten gedrückt, so erleidet der größere Kolben einen sehr starken Druck nach oben; sind die Durchmesser der Kolben etwa 2^{cm} und 20^{cm}, ihre Flächen also $1 \cdot 1 \cdot 3{,}14 = 3{,}14$ und $10 \cdot 10 \cdot 3{,}14 = 314 \square^{cm}$, so ist der Druck auf den großen Kolben $\frac{314}{3{,}14} = 100$ mal so groß, als der Druck auf den kleineren; wird dieser mit 50^{kgr} niedergedrückt, so steigt jener mit einer Kraft von 5000^{kgr} auf. Auch hier muß der Satz von der Gleichheit der Arbeit gelten und das ist leicht zu verfolgen. Wenn der größere Kolben (bei dem angenommenen Querschnitt von $314 \square^{cm}$) 1^{cm} ($= 0^m{,}01$) hoch gehoben werden soll, so muß eine Wassermenge von 314^{cc} in den größeren Cylinder gepreßt werden; um aber das zu bewirken, muß man den kleinen Kolben von $3 \square^{cm}{,}14$ um 100^{cm} ($= 1^m{,}0$) abwärts drücken. Die vom großen Kolben geleistete Arbeit ist dabei (wenn man die obigen Größen der Kräfte beibehält) $5000^{kgr} \cdot 0^m{,}01 = 50$ Kilogrammeter und die auf die Bewegung des kleinen Kolbens zu verwendende Arbeit ist $50^{kgr} \cdot 1^m$, also ebenfalls 50 Kilogrammeter.

Fig. 113.



$^1/_{20}$ nat. Gr.

Der kleine, d. h. enge Cylinder einer hydraulischen Presse müßte eine ungeheuere Länge haben, wenn man sollte durch einmaliges Hineinschieben des kleinen Kolbens eine beträchtliche Hebung des Preßkolbens bewirken. Um diesen $0^m{,}5$ hoch zu heben, brauchte man einen engen Cylinder von 50^m Länge. Einen solchen kann man natürlich nicht anwenden, man nimmt ihn vielmehr ziemlich kurz und sorgt dafür, daß man durch wiederholtes Auf- und Abbewegen desselben die nöthige Wassermenge nach und nach in den großen Cylinder treiben kann, d. h. man macht aus dem kleinen Cylinder eine Pumpe, deren Einrichtung in Fig. 113 mit angedeutet ist, aber erst später erläutert werden kann.

Was bisher über Druckverhältnisse in tropfbaren Körpern gesagt worden, bezieht sich nur auf einen von außen her ausgeübten Druck und seine Fortpflanzung; in einer Flüssigkeit herrscht aber ein gewisser Druck auch ohne daß sie von außen gedrückt wird. Da alle einzelnen Flüssigkeitstheilchen schwer sind, d. h. das Bestreben haben, nach dem Erdmittelpunkte (nach unten) zu gehen, so müssen die oberen Theilchen auf die darunter liegenden drücken. Dieser Druck wird natürlich an irgend einem Punkte um so größer sein, je mehr sich Flüssigkeitstheilchen über diesem Punkte befinden, d. h. je tiefer der Punkt unter der Oberfläche der Flüssigkeit liegt. An allen Stellen, welche gleich tief unter der Oberfläche einer Flüssigkeit liegen, d. h. an allen Punkten einer wagrechten Ebene ist der

Flüssigkeitsdruck gleich groß, von oben nach unten aber nimmt er zu. Auch dieser Druck wirkt, obgleich durch die senkrechte Wirkung der Schwere hervorgebracht, nach allen Richtungen hin; jedes Flüssigkeitstheilchen ist wegen seiner Leichtbeweglichkeit gleich geneigt, nach dieser oder nach jener Seite einem darauf lastenden Drucke auszuweichen. Im ruhigen Gleichgewicht kann eine Flüssigkeit immer nur dann sein, wenn jedes Theilchen derselben von allen Seiten her gleich stark gedrückt wird; so lange irgendwo der Druck von einer Seite her noch stärker wäre, als von der entgegengesetzten, müßte da eine Bewegung der Flüssigkeit eintreten.

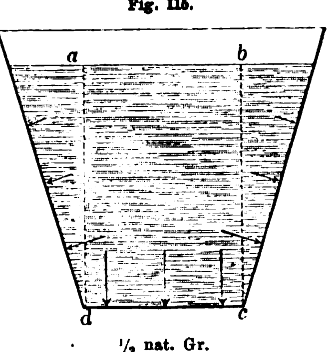
Es ist zunächst unsere Aufgabe, zu untersuchen, welchen Druck eine Flüssigkeit vermöge ihres Gewichtes auf den wagrechten Boden eines Gefäßes ausübt. Fig. 114 sei ein Gefäß mit senkrechten Wänden, das wir uns zunächst leer auf einer Wagschale stehend und durch auf die andere Schale gelegte Gewichte ins Gleichgewicht gebracht denken wollen. Es ist wol ohne weiteres klar, daß man, wenn in das Gefäß eine Anzahl Gramm einer Flüssigkeit gebracht werden, auf die andere Schale ebenso viel Gramm Gewichte legen muß, um das Gleichgewicht herzustellen; gießt man beispielsweise in das Gefäß 100^{gr} Wasser, so wird dasselbe um 100^{gr} schwerer. Die Flüssigkeit drückt allerdings nicht nur den Boden, sondern auch die Wände, und zwar ist der Druck, in der Figur durch kleine Pfeile angedeutet, an den unteren Theilen der Wände größer, als an den oberen. Nach dem oben Gesagten ist aber der Druck der Flüssigkeit in einer bestimmten Höhe überall derselbe, es wird also irgend ein Theil der rechten Wand gerade so stark nach rechts gedrückt werden, wie der gegenüberliegende Theil der linken Wand nach links und folglich muß auch die ganze rechte Wand einen ebenso starken, aber entgegengesetzten Druck erleiden, wie die ganze linke Wand. Dasselbe gilt beziehentlich von der vorderen und hinteren Wand. Wären die Gefäßwände beweglich, so würde das Gefäß durch diesen Seitendruck erweitert werden; da die Wände aber fest sind, so kann dieser Druck äußerlich nicht wahrnehmbar werden, eine Verschiebung des Gefäßes nach der Seite kann nicht stattfinden, weil der Druck immer nach zwei gerade entgegengesetzten Seiten gleich stark wirkt.

Fig. 114.



½ nat. Gr.

Fig. 115.



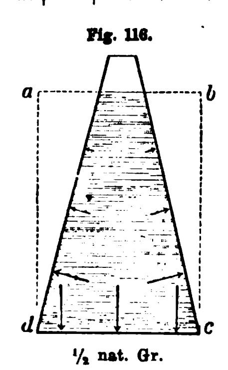
½ nat. Gr.

Der Druck, den das Gefäß in der Richtung nach unten auszuhalten hat, kann also nur herrühren von dem Druck, den die Flüssigkeit auf den Boden desselben ausübt; es muß also bei einem solchen Gefäße mit senkrechten Wänden der Druck auf den Boden gleich dem Gewichte der darin enthaltenen Flüssigkeit sein. Bei einem Gefäße, das oben weiter ist, als unten, Fig. 115, werden die Wände allerdings auch nach der Seite zu gedrückt, aber, wie die Pfeile andeuten, nicht in wagrechter Rich-

tung, sondern schräg nach unten zu. Der Druck auf die einander gegenüberliegenden Wände erfolgt also nicht in genau entgegengesetzter Richtung, er kann sich folglich auch nicht gegenseitig aufheben, er sucht die Wände nicht nur auseinander, sondern auch nach unten zu treiben. Bei einem solchen Gefäße wird also nicht nur der Boden, sondern es werden auch die Wände abwärts gedrückt. Natürlich muß auch hier der gesammte Druck, den das Gefäß nach unten auszuhalten hat, gleich dem Gewichte der hineingebrachten Flüssigkeit sein, da aber ein Theil dieses Drucks auf den Wänden lastet, so muß der Druck auf den Boden eines nach oben erweiterten Gefäßes kleiner sein, als das Gewicht der Flüssigkeit im Gefäße. Bei dem in Fig. 115 dargestellten Gefäße ist der Bodendruck nur gleich dem Gewichte der Flüssigkeitssäule a b c d, also gerade so groß, wie bei dem Gefäße Fig. 114.

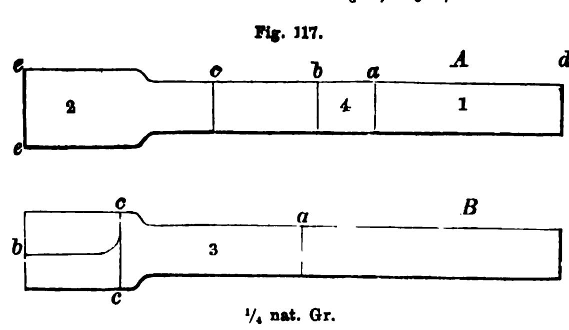
Hat ein Gefäß nach innen geneigte Wände, Fig. 116, so ist der Druck auf diese Wände nach außen und zugleich etwas nach oben gerichtet, er sucht somit diese Wände auseinander und zugleich nach oben zu treiben; wären sie nicht mit dem Boden fest verbunden, so würden sie in der That in die Höhe gehoben werden, da aber die Wände mit dem Boden zusammenhängen, so suchen sie diesen in die Höhe zu ziehen. War das leere Gefäß auf einer Wage ins Gleichgewicht gebracht, so muß man natürlich nach dem Füllen auf die andere Wagschale so viel Gramm Gewichte legen, als man in das Gefäß Gramm Flüssigkeit gebracht hat, wenn das Gleichgewicht wieder hergestellt werden soll. Soviel Gramm Flüssigkeit also das Gefäß enthält, mit soviel Gramm drückt der Boden desselben auf die Wagschale; dieser Druck ist aber nicht der ganze Druck, welchen die Flüssigkeit auf den Boden des Gefäßes ausübt, sondern er ist vermindert um die Kraft, mit welcher die Flüssigkeit die Wände aufwärts zu treiben sucht und mit welcher somit die Wände den Boden in die Höhe ziehen. Wenn nun aber der um eine gewisse Größe verminderte Bodendruck noch gleich dem Gewichte der Flüssigkeit ist, so muß der wirkliche Druck auf den Boden eines nach oben verengerten Gefäßes größer sein, als das Gewicht der Flüssigkeit im Gefäße.

Fig. 116.



½ nat. Gr.

Fig. 117.

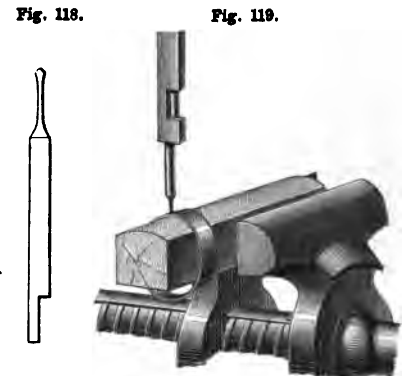


¼ nat. Gr.

Um diese Druckverhältnisse, von denen zumal die im nach oben verengerten Gefäße etwas schwerer verständlich sind, durch Versuche zu erläutern, braucht man Gefäße, bei denen die Wände mit dem Boden nicht in fester Verbindung sind. Solche Gefäße stellt man am besten her aus Moderateurlampencylindern, die nicht gar zu dünnwandig sind. Einen solchen Cylinder, Fig. 117 A, ritzt man bei a, b und c mit einer dreikantigen Feile rund herum stark ein, hält an eine Stelle eines solchen Risses eine glühende Sprengkohle und bläst so lange darauf, bis ein Sprung

entsteht, den man dann rund herum führt. Bei einem zweiten solchen Cylinder, Fig. 117 B, ritzt man nur bei a rund herum und bei b ein kurzes Stück mit der Feile ein, sprengt bei a ab, wie oben und führt von b den Sprung in der durch die gebogene Linie angedeuteten Weise weiter und bei c c rund herum. (Unmittelbar bei c c mit der Feile zu ritzen und gleich da abzusprengen, ist nicht räthlich, weil in der Nähe der Stelle, wo der Cylinder sich verengt, ein Sprung, der dort erst entsteht, leicht fehl geht.) Die mit 1, 2, 3 und 4 bezeichneten Stücke werden je an einem Ende so genau eben geschliffen, daß sie, lose auf eine gläserne Adhäsionsplatte gestellt, ein ziemlich gutschließendes Gefäß abgeben, und zwar schleift man das Stück 1 bei d, 2 bei c, 3 bei c c und 4 bei a oder b ab. Das Abschleifen geschieht auf einem Stückchen möglichst ebenen Fenster- oder noch besser Spiegelglases mit Smirgel und etwas Wasser. Man führt dabei die Cylinderstücken auf der ruhig liegenden, mit dem Schleifmittel versehenen Glasscheibe in einem kleinen Kreise herum, indem man sie zugleich immer um sich selbst dreht. Um die anfangs unebenen Ränder nicht auszubrechen, nimmt man gleich zuerst keinen gröberen Smirgel als Nr. 93; ist der Rand damit gleichmäßig eben angeschliffen, so geht man zu Nr. 100 und schließlich zu Flower über. Die Anwendung von Polirroth ist hierbei nicht nöthig, auch ohne dieses bringt man es leicht dahin, daß das betreffende Cylinderstück, wohlgereinigt auf eine Adhäsionsplatte gestellt und mit Wasser gefüllt, höchstens ganz langsam eine Spur davon durchsickern läßt und, wenn man den Rand ganz dünn mit Oel bestrichen hat, gar kein Wasser; nur das Gefäß Nr. 3 muß man mäßig fest auf die Glasplatte aufdrücken, wenn es schließen soll. Am oberen Rande bekommen die Gefäße 1 und 2 eine 1^{cm} breite Fassung von Blech. Aus dünnem Zink- oder Messingblech, das sich nöthigenfalls mit einer gewöhnlichen Scheere schneiden läßt, schneidet man einen Streifen (etwa $3^1/_2$mal so lang, als das betreffende Gefäß oben äußeren Durchmesser hat), der dann mit ein wenig Schnellloth und Löthwasser so zusammengelöthet wird, daß ein Ring entsteht, welcher ganz leicht über das Glas zu schieben ist. (Bei Zinkblech sei man vorsichtig, daß man es nicht zerschmilzt, zumal wenn man nicht mit einer Weingeistlampe, sondern mit einem Bunsen'schen Brenner arbeitet.) Jeder Ring bekommt an zwei einander gegenüberstehenden Punkten ein Loch von etwa 1^{mm} Weite. Bohrern für so enge Löcher giebt man zweckmäßig die in Fig. 118 dargestellte Form. Um die Punkte für die Löcher ankörnen und die Löcher selbst bohren zu können, ohne den Ring zu verbiegen, schiebt man diesen über ein etwas rundlich geschnitztes Holz, das man wagrecht so in den Schraubstock spannt, daß es auf einer Seite etwas vorsteht, Fig. 119; das Bohrbrett kann man dabei nicht an die Brust stemmen, sondern man hält es in der linken Hand, während man mit der rechten Hand den Bogen führt; den Ring kann man dabei von einem Gehülfen halten lassen, doch ist dies kaum nöthig; das dünne Blech bohrt sich so leicht, daß er auch liegen bleibt, ohne besonders gehalten zu sein. Die Löcher kommen nicht in die Mitte der Randbreite, wie aus Fig. 120 (weiter unten) zu sehen, welche die fertigen Gefäße zeigt. Der obere Rand der Gefäße wird durch vorsichtiges Drehen über der Lampe soweit erwärmt, daß aufgebrachtes Siegellack anschmilzt; man trägt eine etwa 1^{mm} dicke Lackschicht rund herum auf, läßt abkühlen und schiebt dann den Metallring auf, der ebenfalls soweit erwärmt ist, daß das Siegellack bei seiner Berührung schmilzt. Der Ring wird höchstens bis zur Hälfte seiner Breite über das Glas geschoben, so daß die gebohrten Löcher frei bleiben; vorgequollenes Siegellack kratzt man nach dem Erkalten mit dem Messer ab. In diese Löcher bringt man die umgebogenen Enden eines Bügels aus Messingdraht; man biegt diese Bügel etwas enger

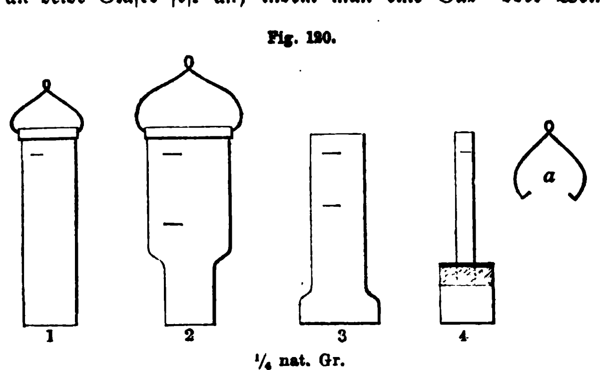
Fig. 118. Fig. 119.



nat. Gr. a. P. $^1/_2$ nat. Gr.

zusammen, als sie später sein sollen (Fig. 120 a), damit sie durch Federkraft in die Ringe festgedrückt werden. In das kurze Rohrstück 4 paßt man einen flachen Kork ein, der weit genug durchbohrt ist, um ein Glasrohr von ohngefähr 1^{cm} innerer Weite aufzunehmen. Dieses Glasrohr macht man 6 bis 7^{cm} lang und kittet es mit Siegellack fest. Zu diesem Zwecke drückt man den Kork soweit in das weitere Rohrstück hinein, daß dieses etwa $1^{mm},5$ über ihn hervorragt, füllt die zwischen beiden Glasröhren gebildete rinnenförmige Vertiefung mit Siegellack aus und schmilzt dieses an beide Gläser fest an, indem man eine Gas- oder Weingeistflamme mittelst des Löthrohrs darauf bläst, wie Fig. 121 zeigt. Das **Löthrohr** ist in seiner einfachsten Form ein etwa 25^{cm} langes, gebogenes Messingrohr, dessen eines Ende etwa 9^{mm} weit ist, während das andere, umgebogene nur eine feine Oeffnung hat. Bläst man mit demselben einen schwachen Luftstrom seitlich in eine Flamme, so erhält man eine seitwärts gebogene, sehr heiße, spitze Flamme, die sogenannte **Stichflamme**. Die Spitze des Löthrohres wird an den Rand der Flamme oder ein kleinwenig in dieselbe hineingehalten. Das Löthrohr wird beim Löthen kleiner Gegenstände und auch sonst noch vielfach benutzt, wo es sich darum handelt, recht große Hitze zu erzeugen. Man muß für solche Zwecke einen ununterbrochenen Luftstrom zuwege bringen, indem man durch die Nase Athem holt, während man mittelst der aufgeblasenen Backen bläst; dazu gehört einige Uebung. Für den vorliegenden Zweck ist solch ein ununterbrochener Luftstrom durchaus nicht nöthig, man muß vielmehr vorsichtig sein, daß nicht durch zu große Hitze das Glas zersprengt und das Siegellack verkohlt wird; das Löthrohr soll hier nur eine abwärts gerichtete Flamme erzeugen.

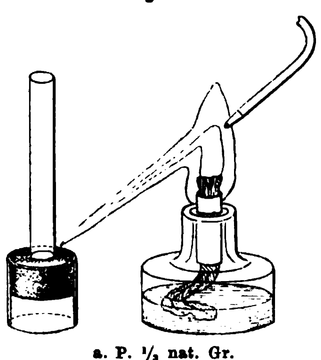
Fig. 120.



¼ nat. Gr.



Fig. 121.



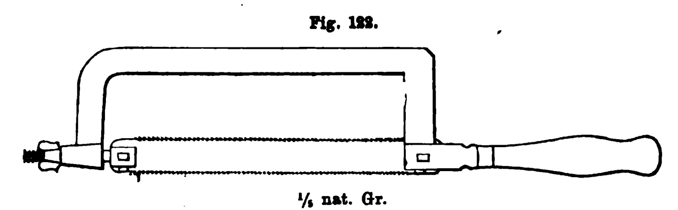
a. P. ⅓ nat. Gr.

Die Gefäße 2, 3 und 4 haben eine etwas andere Form, als die oben, Fig. 115 und 116 gezeichneten, sie haben aber mit diesen das gemein, daß sie oben enger oder weiter sind als unten, ihr Verhalten bezüglich des Druckes ist ganz dasselbe die hier angenommenen Formen sind nur in Glas von passender Größe leichter zu beschaffen, als die oben gezeichneten Formen. Die Glascylinder suche man möglichst gleichmäßig aus, so daß das Gefäß 1 seiner ganzen Länge nach, das Gefäß 2 und 4 unten gleichen Durchmesser haben.

Eine als Boden für die Gefäße dienende Adhäsionsplatte muß auch an die Wage gehängt werden können. Dazu wird dieselbe in der Mitte durchbohrt und das Loch bis auf etwa 4^{mm} erweitert. Ferner schneidet man auf ein 7^{cm} langes, 3 bis 4^{mm} dickes Stück Messingdraht seiner ganzen Länge nach ein Schraubengewinde. Man achte darauf, die Kluppe so anzusetzen, daß der Draht genau rechtwinkelig gegen die Fläche derselben steht, damit die auf die Spindel kommenden Muttern nicht schief sitzen. Der Draht muß vor dem Schraubenschneiden gut gerade gerichtet werden, das darf nur mit einem hölzernen Hammer auf hölzerner Unterlage geschehen, damit man ihn nicht eckig schlägt; um ihn leicht richten zu können, glüht man ihn vorher aus. Das eine Ende des Drahtes wird von zwei Seiten her abgefeilt, so daß ein

flaches Stückchen entsteht, welches man ankörnt und mit einem feinen Bohrer durchbohrt, um später einen Faden durchziehen zu können. An das andere Ende gießt man ein kleines, cylindrisches Bleigewicht von 15^{mm} Dicke und 12^{mm} Höhe, indem man den Draht in die Mitte einer Form hält, wie sie schon wiederholt beschrieben ist; das Halten muß mit der Pincette geschehen oder auch mittelst eines passend gestellten Retortenhalters. Die Muttern fertigt man aus Messingblech von etwa $2^{mm},5$ Dicke. Von einem größeren Blechstück kann man zwei quadratische Stückchen von etwa 10^{mm} Seite absägen oder abmeißeln. Eine Säge für Metall, Fig. 122, hat einen starken, eisernen Bügel, der oben und unten viereckige Eisenstücken mit Haken

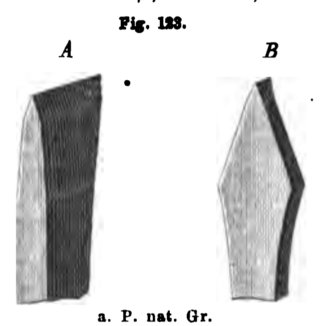
Fig. 122.



1/4 nat. Gr.

zum Einhängen der Blätter trägt. Das am Griffende des Bügels sitzende Eisenstück ist fest, das andere kann mittelst einer Flügelschraube angezogen werden. Die **Sägeblätter** für Metall sind dünn und haben Zähne, welche nicht, wie es bei Holzsägen meist der Fall ist, abwechselnd nach einer und der anderen Seite gebogen (geschränkt) sind; diese Blätter sägen langsam, machen aber einen schmalen Schnitt; beim Gebrauche schmiert man sie mit etwas Oel, damit sie sich nicht klemmen. Kommt es, wie hier, nicht darauf an, einen schmalen Schnitt zu machen, so benutzt man bequemer als Sägeblatt eine sogenannte **Bogenfeile**. Eine Bogenfeile ist ein etwas dickeres, gewöhnlich auf beiden Seiten mit Zähnen versehenes Stahlblatt, dessen Zähne wie die einer Feile mit dem Meisel eingehauen sind, so daß sie nach beiden Seiten etwas vorstehenden Grat haben. Der Schnitt, den sie machen, ist deshalb etwas breiter, als das eigentliche Blatt und dieses klemmt sich nicht so leicht fest und braucht auch nicht geschmirt zu werden. Sägeblätter und Bogenfeilen, zumal die letzteren, muß man gut in Acht nehmen, da sie ihrer Härte wegen leicht brechen. Anstatt sie abzusägen, kann man Stücke von dickem Metallblech auch mit dem **Hartmeisel** abhauen, was insofern gut ist, als man einen stumpf gewordenen Meisel leicht wieder schleifen kann, während ein abgenutztes Sägeblatt nur mühsam durch Befeilen der einzelnen Zähne des in den Schraubstock gespannten Blattes mit einer guten, dreikantigen Feile wieder scharf gemacht werden kann. Nur ist zur Anwendung des Meisels eine schwere Unterlage erforderlich. Hat man nicht einen 10 bis 12^{kgr} schweren Schraubstock oder einen Ambos, so kann man eine steinerne Thürschwelle oder dergl. benutzen. Im Schraubstock spannt man das Blech so ein, daß die Linie, auf der man es durchhauen will, dicht über die obere Kante der Backen zu liegen kommt, setzt dann die Schneide des in der linken Hand wagrecht gehaltenen Meisels auf und führt mit der rechten Hand kräftige Hammerschläge. Hat man nur einen Ambos oder einen Stein als Unterlage, so haut man das Blech nicht ganz durch, sondern nur bis auf zwei Drittel seiner Tiefe und bricht dann den abzulösenden Theil ab, indem man diesen in den Schraubstock spannt und den vorstehenden, größeren Theil mit der Hand hin- und herbiegt. Will man ohne Schraubstock das Blech ganz durchhauen, so muß man unter dasselbe eine Unterlage bringen, welche die Meiselschneide nicht abstumpft, ein Stück Schmiedeeisen, Messing oder allenfalls auch Blei; dünneres Blech läßt sich auch auf einem Hackstock von hartem Holze durchschlagen. Die gewöhnlichen Meisel haben die Form Fig. 123 A, für gewisse

Fig. 123.



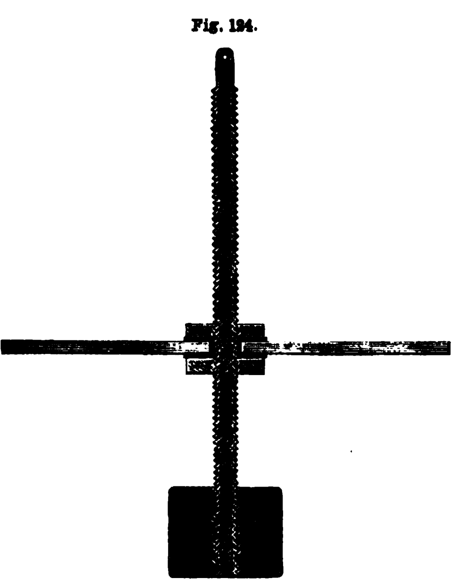
a. P. nat. Gr.

Zwecke braucht man Meisel mit schmaler Schneide, denen man die Form Fig. 123 B giebt; die letzteren heißen, weil die Schneide auf ihrer größten Breite rechtwinklig steht, **Kreuzmeisel**.

Um die Schneide des Meisels nicht auszubrechen, setze man sie immer fest auf das zu bearbeitende Metallstück auf, ehe man mit dem Hammer zuschlägt. Es ist zweckmäßig, die Linie, auf welcher man das Blech durchschlagen will, vorher anzureißen, was mittelst der Körnerspitze oder einer Ecke des Meisels geschieht. Ist der Meisel auf einen Hieb nicht tief genug eingedrungen, so setzt man die Schneide vor einem zweiten Hieb genau in die das erstemal entstandene Vertiefung; der Meisel springt nach dem Schlage des Hammers leicht aus derselben heraus.

Einen stumpfen Meisel lerne man womöglich selbst schleifen; es kommt dabei hauptsächlich darauf an, ebene und nicht gewölbte Flächen anzuschleifen; man muß deshalb darauf achten, denselben in unveränderter Richtung auf den Schleifstein zu halten, während man ihn langsam über die Breite des umlaufenden Steines hin- und herführt, welches letztere nöthig ist, weil man sonst Rinnen in den Stein schleift und die Ecken des Meisels abrundet. Nach dem Schleifen zeigt der Meisel an der Schneide einen kleinen Grat, der durch Abziehen auf dem Oelstein entfernt wird.

Fig. 124.



• nat. Gr.

Ist von der Schneide soviel ausgebrochen, daß sie sich durch Schleifen nicht gut wieder herstellen läßt, so mache man den Meisel durch Ausglühen weich, feile ihn zurecht, härte ihn wieder und lasse ihn dunkelgelb an (s. oben beim Körner). Sollte ein ganz großes Stück ausgebrochen sein, so muß der Meisel geschmiedet werden; der Zeugschmied oder, wenn kein solcher am Orte ist, jeder Schlosser richtet denselben wieder vor; bei einem solchen Handwerker kann man leicht Herstellung und Gebrauch des Meisels aus eigener Anschauung kennen lernen.

Die beiden Muttern werden in der Mitte recht schön gerade durchbohrt und das nöthige Gewinde hineingeschnitten, was, wie früher bemerkt, vor dem Schneiden der Spindel geschehen muß. Die eine Mutter feilt man sauber viereckig, die andere wird rund gefeilt, auf die Spindel soweit aufgeschraubt, daß sie $1^{cm},5$ von dem Bleigewicht absteht und festgelöthet. Zum Löthen nehme man ganz wenig Weichloth und bringe es mit der Pincette auf die Seite der Mutter, die dem Bleigewicht zugewendet ist; man muß nämlich vermeiden, daß Loth auf den anderen Theil der Spindel kommt, weil sich sonst die andere Mutter auf diesen nicht mehr aufschrauben läßt. Zwischen die beiden Muttern preßt man die Adhäsionsplatte (natürlich mit der geschliffenen Seite nach oben) fest, aber so, daß man auf jeder Seite zwischen Glas und Mutter ein dünnes, in der Mitte durchlöchertes Scheibchen von Handschuhleder anbringt. Das Leder wird mit einem Tropfen Oel befeuchtet oder mit etwas Talg eingerieben und dient, um die Verschraubung wasserdicht zu machen und um dem Zerdrücken des Glases durch die harten Messingmuttern vorzubeugen. Fig. 124 zeigt die Adhäsionsplatte sammt Aufhängevorrichtung im Durchschnitt; das Bleigewicht hat den Zweck, dem Ganzen eine sichere Gleichgewichtsstellung zu geben.

Für die folgenden Versuche ist ferner eine kleine, kurzhängende Wagschale erforderlich. Man kann als solche ein Kästchen mit vier Fäden benutzen, wie es bei

den Rollen angegeben ist, dessen Boden man in der Mitte durchsticht, um da ein Drahthäkchen anbringen zu können.

Die in Fig. 120 mit 1, 2 und 3 bezeichneten Gefäße dienen, um die Wirkung des Flüssigkeitsdrucks auf die Wände zu zeigen. An dem mehrerwähnten Gestell Fig. 35 hängt man die Wage auf und zwar unmittelbar an einem angeschraubten Häkchen oder mittelst eines Drahtes, nicht mit einem Faden, damit sie sich nicht in seitlicher Richtung dreht. Auf der rechten Seite bringt man eine gewöhnliche, auf der linken eine kleine Schale mit Häkchen an, an welche man mittelst eines Fadens das Gefäß 1 hängt. Durch Sand, Bleischrot oder dergl. bringt man es dahin, daß die Wage einspielt, dann spannt man die nicht durchbohrte Adhäsionsplatte mittelst ihres Siegellackgriffes in einen Retortenhalter und bringt sie so unter das schwebend aufgehängte Gefäß, daß sie dessen unteren Rand eben berührt. Man achte darauf, daß die Platte schön wagrecht liegt, damit sie wirklich rund herum anliegt. Nun bestreicht man entweder den unteren Gefäßrand mit etwas Oel oder bringt in die kleine, über dem Gefäße befindliche Schale ein Gewicht von höchstens 5gr, um das Gefäß ganz leise auf die Glasplatte aufzudrücken. Etwas Oel oder ein schwacher Druck ist nöthig, um das Gefäß schließen zu machen, wenn die cylindrische Wandung wirklich frei über der Bodenplatte liegt, hält das Gefäß kein Wasser. Fig. 125 zeigt das Ganze.

Fig. 125.



a. P. 1/3 nat. Gr.

Man gießt nun mittelst eines kleinen Glases, etwa mittelst eines Probirglases das lose zusammengesetzte Gefäß voll Wasser, nachdem man zuvor einen großen Teller oder eine Schüssel unter die Bodenplatte gestellt hat. Das Gefäß läßt sich ruhig füllen, was jedenfalls beweist, daß das Wasser die Wandung nicht aufwärts drückt; daß dieselbe aber auch nicht abwärts gedrückt wird, erkennt man daran, daß sie sofort in die Höhe geht und das Wasser ausfließen läßt, wenn man in die rechte Wagschale ein Gewicht bringt. 2 bis 3gr, wenn man den Gefäßrand nur mit Oel bestrichen, 7 bis 8gr, wenn man links vorher ein Druckgewicht von 5gr aufgesetzt hat, sind jedenfalls genug. Das Gefäß 2 wird in gleicher Weise an der Wage balancirt, braucht aber weder mit Oel bestrichen, noch mit einem Druckgewicht versehen zu werden, man drückt es nur mit der linken Hand leise auf die Bodenplatte auf, während man mit der rechten Wasser eingießt; ist es erst gefüllt, so wird es durch das Wasser so stark nach unten gedrückt, daß man rechts 20gr und mehr Gewichte auf die Wagschale legen kann, ohne die Wandung in die Höhe zu heben und ein Auslaufen des Wassers zu bewirken.

Das Gefäß 3 wird nicht aufgehängt, sondern ohne weiteres auf die Bodenplatte gestellt, so daß es durch sein ganzes Gewicht festgedrückt wird. Bis zu einer gewissen Höhe kann man es mit Wasser füllen, ohne daß etwas ausläuft, sobald man aber versucht, es ganz zu füllen, so wird der nach

oben gerichtete Druck auf die Wände so stark, daß er das Gefäß aufhebt und ein Auslaufen des Wassers bewirkt. Dabei gleitet das Gefäß leicht nach der Seite fort; man halte, während man mit der rechten Hand Wasser eingießt, die linke bereit, um es vor dem Herunterfallen zu bewahren.

Für die auf den Bodendruck bezüglichen Versuche bringt man an den Gefäßwandungen passende Marken an. Man bringe in jedes der Gefäße 1, 2 und 3 (während sie frei auf der Bodenplatte stehen) eine gleiche Menge Wasser und zwar soviel, daß das Gefäß 1 davon beinahe gefüllt wird; es werden dazu ohngefähr 40^{cc}, also 40^{gr} nöthig sein, welche Zahl für das Folgende angenommen werden soll. Bei jedem Gefäße bemerke man durch einen Strich mit der dreikantigen Feile oder auch durch ein schmales, aufgeklebtes Papierstreifchen, wie hoch es durch die 40^{gr} Wasser gefüllt wird. Ferner bezeichne man die Höhe, in welcher sich die Marke an dem Gefäße 1 befindet, auch an den Gefäßen 2, 3 und 4, wie es in Fig. 120 angedeutet ist.

Fig. 126.



a. P. 1/3 nat. Gr.

Man hängt jetzt an die linke Seite der Wage die hierzu vorbereitete Adhäsionsplatte und bringt diese ins Gleichgewicht. Das Aufhängen geschieht mittelst eines Fadens, der oben einen kleinen Drahthaken besitzt, um ihn leicht von der Wagschale abnehmen und wieder anbringen zu können.

Nun wird zuerst das Gefäß 1 in einen Retortenhalter gespannt, der Faden der Bodenplatte hindurchgezogen, an der Wage befestigt und der Retortenhalter so gerichtet, daß der untere, abgeschliffene Rand des Gefäßes gut wagrecht und gleichmäßig auf der Glasplatte aufsitzt und das an dieser befindliche Messingstäbchen schön in der Mitte des Gefäßes steht, Fig. 126. Man zieht dann die Platte niederwärts, um den unteren Gefäßrand mit etwas Oel bestreichen zu können, läßt die Platte langsam wieder in die Höhe gehen, daß sie sich richtig anlegt, bringt in die rechte Wagschale 40^{gr} Gewichte und füllt das Gefäß durch vorsichtiges Eingießen mit Wasser bis an die vorerwähnte Marke. Bei gehöriger Vorsicht fließt kein Wasser aus; die in der rechten Wagschale liegenden 40^{gr} reichen aus, dem Bodendruck des Wassers das Gleichgewicht zu halten, sobald man aber im geringsten mehr Wasser in das Gefäß bringt, wird die Bodenplatte abgedrückt und es fließt Wasser aus; der von 40^{gr} Wasser ausgeübte Druck beträgt folglich nicht weniger als 40^{gr}. Beim Ausfließen des Wassers hängen sich Tropfen an die Glasplatte und die damit verbundenen Metalltheile an, diese müssen natürlich vor einem neuen Versuche abgewischt werden, weil sie die Platte beschweren.

Wird das Gefäß 2 zu einem ähnlichen Versuche benutzt (über seine Befestigung siehe unten), so läßt sich leicht erkennen, daß die 40^{gr} Wasser, die man eingießt, nicht einen Druck von 40^{gr} auf den Boden ausüben, sondern einen kleineren, man kann nämlich die betreffende Marke beträchtlich

überschreiten, ohne daß die Bodenplatte abgedrückt wird. Erst wenn man das Gefäß so hoch füllt, wie man das Gefäß 1 füllen mußte, um bei letzterem das Anlaufen zu bewirken, fängt auch das Gefäß 2 an auszulaufen. Man erkennt durch diesen Versuch nicht nur, daß in einem nach oben erweiterten Gefäße der Bodendruck kleiner ist, als das Gewicht der darin enthaltenen Flüssigkeit, sondern man sieht zugleich, daß er gerade so groß ist, als der Druck in einem von senkrechten Wänden begrenzten, gleich weiten und gleich hochgefüllten Gefäße. Bei Anwendung des Gefäßes 3 wird die Bodenplatte schon abgedrückt, ehe man 40^{gr} Wasser eingegossen hat, es ergiebt sich ohne weiteres, daß der Bodendruck in einem nach oben verengerten Gefäße größer ist, als das Gewicht der im Gefäße befindlichen Flüssigkeit. Wegen seiner größeren Bodenfläche läßt sich das Gefäß 3 nicht unmittelbar mit den Gefäßen 1 und 2 vergleichen, man nimmt deshalb zuletzt noch das Gefäß 4 und behandelt es in gleicher Weise. Dasselbe faßt natürlich nicht 40^{gr} Wasser, sondern bedeutend weniger; das Auslaufen beginnt aber, sobald das Gefäß ebenso hoch gefüllt ist, wie das Gefäß 1 im gleichen Falle; man ersieht daraus, daß auch bei einem nach oben verengerten Gefäße der Bodendruck ebenso groß ist, wie in einem gleich weiten und gleich hoch gefüllten Gefäße mit senkrechten Wänden.

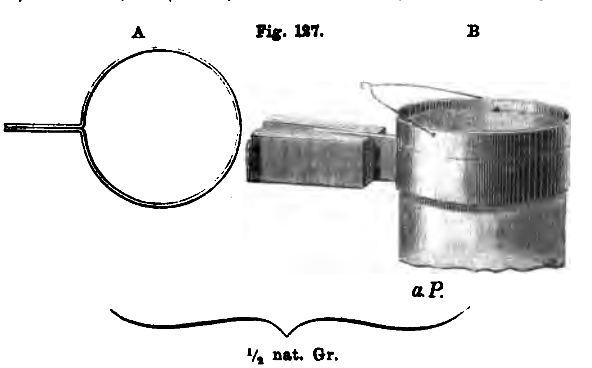


Fig. 127.

$^1/_2$ nat. Gr.

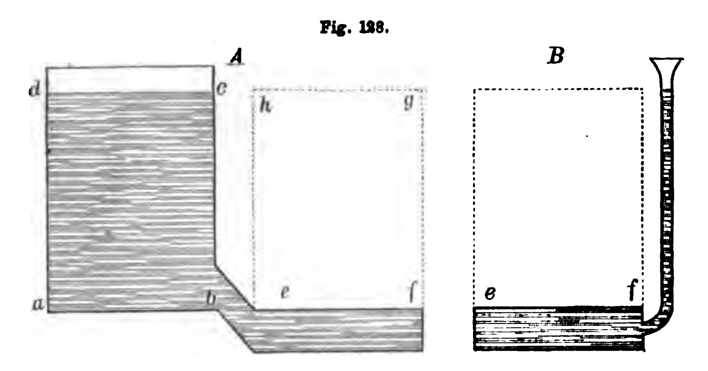
Der obere Theil des Gefäßes 2 ist zu dick, der untere zu kurz, um dasselbe ohne weiteres in den Retortenhalter spannen zu können, man schneidet sich deshalb einen 2^{cm} breiten Zinkblechstreifen, der etwa fünfmal so lang ist, als der Durchmesser des Gefäßes, biegt denselben in die Fig. 127 A gezeichnete Form, löthet die beiden geraden Stücke aneinander fest und hängt dann das Gefäß in den im Retortenhalter befestigten Ring, Fig. 127 B.

Wie uns die Versuche gezeigt haben, ist der Bodendruck unabhängig von der Form des Gefäßes und richtet sich nicht nach der Menge der im Gefäße enthaltenen Flüssigkeit, sondern nur nach der Größe des Bodens und der senkrechten Höhe des Flüssigkeitsspiegels über dem Boden. Der Druck ist immer so groß, wie das Gewicht einer geraden, senkrechten Flüssigkeitssäule sein würde, auch wenn in Wirklichkeit mehr (bei oben weiterem Gefäße) oder weniger (bei oben engerem Gefäße) Flüssigkeit vorhanden ist. Danach ist es leicht, die Größe dieses Bodendrucks zu berechnen. Das Volumen einer geraden Säule findet man, wenn man die Größe der Bodenfläche mit der Höhe multiplicirt. Für den Fall, daß die Flüssigkeit Wasser ist, giebt die erhaltene Anzahl von Cubiccentimetern ohne weiteres die Anzahl Gramm Druck, weil 1^{cc} Wasser 1^{gr} wiegt; hat man mit einer anderen Flüssigkeit zu thun, so muß man wissen, welches spec. Gew. diese hat, d. h. wie viel mal so schwer sie ist, als das Wasser; soviel mal so groß ist dann natürlich auch der Bodendruck; man braucht also den Druck, welchen Wasser bewirken würde, nur noch mit dem spec. Gew. der Flüssigkeit zu multipliciren. Es

sei z. B. der Druck zu finden, welchen eine Kochsalzlösung vom spec. Gewichte 1,2 auf den rechteckigen 10^{cm} langen, 8^{cm} breiten Boden eines 6^{cm} hoch gefüllten Gefäßes ausübt. Die Bodenfläche beträgt hier $10 \cdot 8 = 80\square^{cm}$ und danach das Volumen der drückenden Flüssigkeitssäule $80 \cdot 6 = 480^{cc}$. Hätten wir anstatt der Salzlösung Wasser, so betrüge der Druck 480^{gr}, da die Lösung aber 1,2 mal so schwer ist, als dieses, so ergiebt sich ein Druck von $480 \cdot 1,2 = 576^{gr}$. Nochmals kurz zusammengefaßt, lautet unsere Regel: **Man findet den Druck einer Flüssigkeit auf den wagrechten Gefäßboden, in Grammen ausgedrückt, wenn man die Anzahl Quadratcentimeter der Bodenfläche mit der nach Centimetern gemessenen, senkrechten Flüssigkeitshöhe und das Product noch mit dem specifischen Gewichte der Flüssigkeit multiplicirt.**

20. **Auftrieb, communicirende Röhren, Archimedisches Princip.** Schon oben ist erwähnt worden, daß an jeder Stelle einer Flüssigkeit, die sich in Ruhe befindet, der Druck nach allen Seiten hin gleich groß ist; es wird deshalb auch eine Fläche, die an ihrer unteren Seite von einer Flüssigkeit bespült wird, von dieser gerade so stark nach oben gedrückt werden, wie eine gleich große und gleich tief unter dem Flüssigkeitsspiegel liegende Fläche, die von oben bespült ist, nach unten gedrückt wird. Bei dem in Fig. 128 A

Fig. 128.



dargestellten Gefäße ist der nach oben gerichtete Druck auf die Fläche e f gleich dem nach unten gerichteten Druck auf die Fläche a b, d. i. gleich dem Gewichte der Flüssigkeitssäule a b c d oder gleich dem Gewichte einer ebenso großen, gedachten Flüssigkeitssäule e f g h. Da es, wie wir wissen, bei dem Flüssigkeitsdruck nur auf die Größe der gedrückten Fläche und auf ihre Tiefe unter dem Flüssigkeitsspiegel ankommt, so muß die Fläche e f, Fig. 128 B, genau ebenso stark gedrückt werden, wie die Fläche e f in Fig. 128 A. Der aufwärts gerichtete Druck auf eine Fläche wird natürlich nach ganz derselben Regel berechnet, wie der abwärts gerichtete Druck auf eine Bodenfläche. Es ist ohne weiteres klar, daß bei einem Gefäße von der in Fig. 128 B dargestellten oder einer ähnlichen Form der Druck auf die Fläche e f, der gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule e f g h ist, viel größer sein kann, als das Gewicht der wirklich vorhandenen Flüssigkeitsmenge.

Das Vorhandensein des aufwärts gerichteten Flüssigkeitsdrucks zeigt man, indem man den Aufhängungsfaden der Platte Fig. 124 durch das Gefäß Fig. 113 hindurchzieht und dann dieses Gefäß mit der linken Hand bis fast zum Rande in ein großes Glas voll Wasser taucht, während man durch

Straffhalten des Fadens mit der rechten Hand die Bodenplatte an den abgeschliffenen Gefäßrand andrückt. Ist das Gefäß soweit eingetaucht, wie Fig. 129 zeigt, so kann man dann den Faden loslassen, ohne daß die Platte abfällt, der Druck des Wassers reicht bei den angenommenen Größenverhältnissen hin, um die Platte sammt dem daran befestigten Bleigewicht zu tragen; sollte man dieses zu groß und dadurch die Platte zu schwer gemacht haben, so verkleinere man es durch Abschneiden mit dem Messer.

Fig. 129.



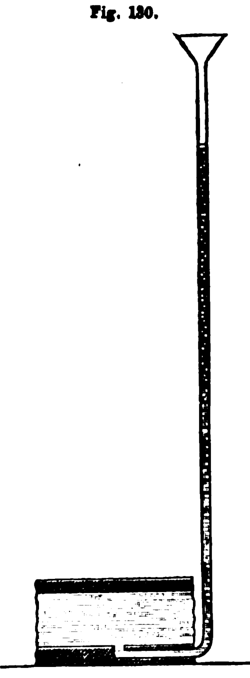
a. P. 1/3 nat. Gr.

Mit einer kleinen Menge Wasser einen starken Druck nach oben zu erzeugen, dient der hydrostatische Blasebalg, Fig. 130, aus zwei kreisrunden Holzplatten bestehend, die durch ein ringförmiges Leder zu einem flachen Gefäße verbunden sind, in welches ein seitlich aufgebogenes Rohr von 1 bis 2^{cm} Weite mündet. Durch Füllen der Röhre mit Wasser kann man ein beträchtliches Gewicht heben. Beträgt z. B. der Durchmesser der oberen Holzplatte 20, also der Halbmesser 10^{cm} und somit der Flächeninhalt $10 \cdot 10 \cdot 3{,}14 = 314 \square^{cm}$ und es steht das Wasser in der Röhre 50^{cm} höher als die untere Fläche der Platte, so ist der Druck, welcher diese Platte zu heben sucht, gleich dem Gewichte von $314 \cdot 50 = 15700^{cc}$ Wasser, also 15700^{gr} oder $15^{kgr},7$.

Die Herstellung eines hydrostatischen Blasebalges ist nicht ganz leicht, man kann sich anstatt eines solchen auch mit der in Fig. 131 dargestellten Vorrichtung behelfen.

Eine Thierblase B, entweder eine Schweins- oder noch besser eine Rindblase wird an ihrer Mündung soweit abgeschnitten, daß man das Ende einer fingerstarken Glasröhre von 10^{cm} Länge hineinschieben und darin festbinden kann (nöthigenfalls mit Zuhülfnahme eines Korkes, wie S. 19). Mit der kurzen Glasröhre wird eine längere (etwa 70^{cm}), gleich starke durch ein 10 bis 15^{cm} langes Stück straff aufgeschobenen Kautschuckschlauch verbunden und diese in senkrechter Lage in einen Retortenhalter gespannt. Die befeuchtete, aber leere Blase drückt man möglichst flach auf den Tisch und legt darüber ein ziemlich großes Brett (einen Kistendeckel, ein Reißbrett oder dergl.) so, daß die Blase sich nicht unter der Mitte, sondern am Rande desselben befindet. Damit das Brett und die später darauf zu setzenden Gewichte das unter das Brett ragende Glasrohr nicht zerdrücken, legt man zu beiden Seiten der Blase kleine, 2 bis 3^{cm} hohe Klötzchen K K unter. Durch Eingießen aus einer Flasche oder mittelst eines Trichters in das senkrechte Glasrohr R füllt man die Blase so weit, daß sie anfängt das Brett zu heben, so daß dieses nicht mehr auf den Klötzchen, sondern nur noch an dem Rande a b aufliegt, der unmittelbar auf dem Tische ruht.

Fig. 130.



1/10 nat. Gr.

Die aufzusetzenden Gewichte stellt man nun so auf das Brett, daß sie sich nicht genau über der Mitte der Blase befinden, sondern ein wenig nach diesem aufliegenden Rande zu, weil sie sonst, wenn sie bedeutend sind und beträchtlich gehoben werden, ein Umschlagen des Brettes und damit ein Zerbrechen der Glasröhren bewirken können. Beim Aufsetzen der Gewichte auf das Brett wird dieses wieder bis auf die Klötzchen niedergedrückt und dabei das Wasser in dem Rohre R etwas zum Steigen gebracht. Gießt man aber jetzt in dieses Rohr mehr Wasser, so wird schließlich das Brett sammt den Gewichten wieder in die Höhe gehoben. Mit einer Schweinsblase kann man auf diese Weise mehrere Kilogramm, mit einer Rindsblase 40 bis 50kgr und, wenn das Rohr R etwa 1m hoch ist, selbst einen erwachsenen Menschen aufheben. Anstatt wirklicher Gewichte dient auch ein großer Stein oder ein ähnlicher schwerer Gegenstand; es ist schon ohne Wägung ersichtlich, daß das gehobene Gewicht viel größer ist, als die verbrauchte Wassermenge. Nach beendigtem Versuche löst man das Rohr R aus dem Retortenhalter, biegt es nach der Seite um und läßt das Wasser in ein untergesetztes Gefäß auslaufen.

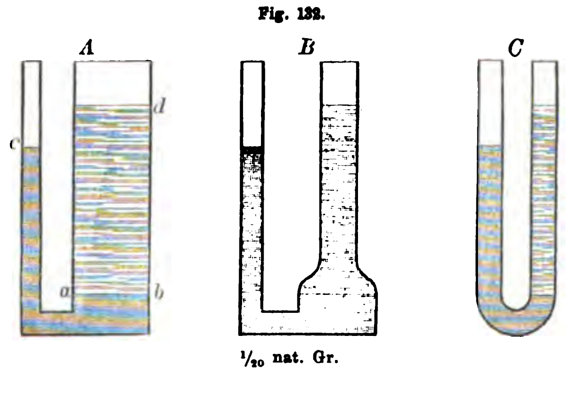
Fig. 131.



a. P. 1/11 nat. Gr.

Vielleicht ist es nicht überflüssig, daran zu erinnern, daß auch diese Hebung eines großen Gewichtes durch eine kleine Wassermasse im Einklang steht mit dem, was früher über die mechanische Arbeit gesagt worden ist. Das große Gewicht wird durch das zugegossene Wasser, das sich in dem flachen Behältniß ansammelt, nur um ein kleines Stück gehoben und die dabei geleistetete Arbeit (Kraft mal Weg) ist nicht größer als die, welche die kleine, niedergehende Wassermasse leistet, indem sie die ganze, viel größere Höhe der senkrechten Röhre durchläuft.

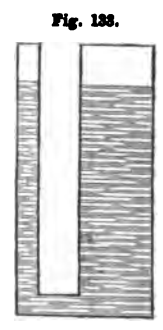
Fig. 132.



1/20 nat. Gr.

Anstatt durch Gewichte, wie beim hydrostatischen Blasebalg, kann man den aufwärts gerichteten Flüssigkeitsdruck auch im Gleichgewicht halten durch den Druck einer anderen Flüssigkeit. Fig. 132 A soll zwei an ihrem unteren Theile in Verbindung stehende (communicirende) Gefäße vorstellen, deren weiteres einen Querschnitt von $300 \square^{cm}$ hat. Das linke, engere Gefäß, das Verbindungsrohr und der untere Theil des weiteren Gefäßes bis zu der Fläche a b soll Wasser, der obere Theil des weiteren Gefäßes Steinöl (Petroleum) vom spec. Gew. 0,8 enthalten und die senkrechte Höhe von a b bis c 40^{cm} betragen. Die Berührungsfläche der beiden verschiedenen Flüssigkeiten hat in diesem Falle von unten her einen Druck auszuhalten, der gleich dem Gewichte einer 40^{cm} hohen Wassersäule von $300 \square^{cm}$ Querschnitt ist, also gleich dem Gewichte von $40 \cdot 300 = 12000^{cc}$ Wasser, d. i. einen Druck von 12000^{gr}. Die beiden Flüssigkeiten können nur dann im Gleichgewicht sein, wenn die Fläche a b von oben her durch das Steinöl ebenso stark gedrückt wird. Es ist leicht zu finden, welches Volumen eine Säule von Steinöl haben muß, um 12000^{gr} schwer zu sein. Das spec. Gew. ist 0,8, folglich wiegt 1^{cc} Steinöl $0^{gr},8$ und so oft $0^{gr},8$ in 12000^{gr} enthalten ist, so viele Cubiccentimeter Steinöl muß man nehmen, um ein Gewicht von 12000^{gr} zu erhalten, also $\frac{12000}{0,8} = 15\,000^{cc}$. Sobald aber das Volumen der Flüssigkeitssäule und ihre Bodenfläche ($300 \square^{cm}$) bekannt ist, läßt sich auch ihre Höhe leicht berechnen. Das Volumen ist das Product aus Bodenfläche und Höhe, folglich muß sich die Höhe ergeben, wenn man das Volumen durch die Bodenfläche dividirt, in unserem Falle $\frac{15000}{300} = 50^{cm}$. Es muß also das Steinöl 50^{cm} hoch über der Berührungsfläche der beiden Flüssigkeiten stehen, um der 40^{cm} hohen Wassersäule das Gleichgewicht zu halten und zwar würde ganz dasselbe der Fall sein, wenn die communicirenden Gefäße anstatt der in Fig. 132 A dargestellten Form die Form B oder C hätten, da der Druck auf die Fläche a b nur von den Höhen a c und b d, nicht aber von der Gestalt der Gefäße abhängt. Es ist leicht zu ersehen, daß die Höhe des Wassers (40^{cm}) in der Höhe des Steinöls (50^{cm}) gerade soviel mal enthalten ist, wie das spec. Gew. des Steinöls (0,8) in dem spec. Gew. des Wassers (1) oder mit anderen Worten: die senkrechten Höhen zweier Flüssigkeitssäulen in communicirenden Röhren (von der Berührungsfläche ab gemessen) verhalten sich umgekehrt, wie die specifischen Gewichte derselben (sind dem spec. Gew. umgekehrt proportional); $40 : 50 = 0,8 : 1$.

Fig. 133.

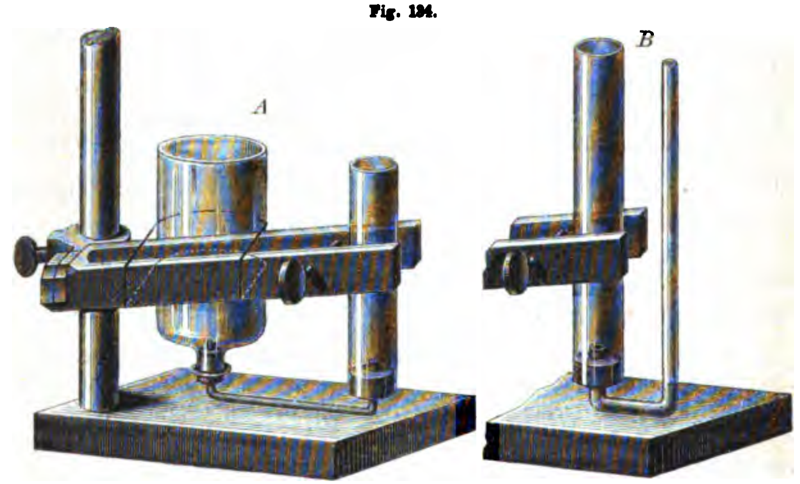


Wenn beide Flüssigkeiten gleiches spec. Gew. haben, d. h. wenn sich ihre spec. Gew. wie $1 : 1$ verhalten, so müssen sich ihre Höhen natürlich auch wie $1 : 1$ verhalten. Der Fall, daß man zwei verschiedene Flüssigkeiten von genau gleichem spec. Gew. hat, wird kaum vorkommen, in Bezug auf den Stand in communicirenden Gefäßen aber ist es natürlich ganz dasselbe, wenn man anstatt zweier gleich schwerer Flüssigkeiten in beiden Gefäßen eine und dieselbe Flüssigkeit hat; es folgt daraus der eigentlich an und für sich selbstverständliche Satz: eine Flüssigkeit steht in communicirenden Gefäßen gleich hoch, Fig. 133.

Nach unserer jetzigen Betrachtung soll die Weite der Gefäße ohne Einfluß auf den Stand der Flüssigkeiten sein, dies ist aber nur dann wirklich genau der Fall,

wenn keines der Gefäße enger ist, als 1^{cm}. Bei engeren Gefäßen kommen besondere Einwirkungen hinzu, die wir erst später genauer betrachten wollen. Man suche sich also zu den Versuchen communicirende Gefäße zu verschaffen, von denen das engere nicht unter 1^{cm} weit, das andere bedeutend weiter ist. Man kann etwa den abgesprengten, engeren Theil eines Moderateurlampencylinders unten durch einen Kork verschließen, in welchen eine zweimal gebogene Glasröhre gekittet ist, deren anderes Ende mit Kork in den Hals einer Flasche eingesetzt ist, von der man den Boden abgesprengt hat; beide Korke oder wenigstens der in den Cylinder eingeschobene werden mit Siegellack verkittet. Diese Vorrichtung ist aber etwas zerbrechlich und schlecht zu befestigen; am besten geht es noch, wenn man den wagrechten Theil des gebogenen Glasrohres auf dem Fußbrett eines Retortenhalters ruhen läßt, in dessen Klammer man den Cylinder einspannt, während man die Flasche mit Bindfaden an den hinteren Theil dieser Klammer festbindet, Fig. 134 A. Leichter geht die Sache, wenn man

Fig. 134.



a. P. $^1/_4$ nat. Gr.

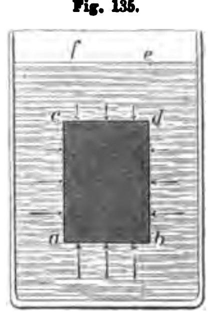
darauf verzichtet, daß die eine Flüssigkeit in beiden Gefäßen ganz genau gleich hoch und die beiden Flüssigkeiten ganz genau im umgekehrten Verhältniß ihrer specifischen Gewichte stehen und den abgesprengten Cylinder als weites, ein Glasrohr von 6 bis 8^{mm} Weite als engeres Gefäß nimmt und sie verbindet, wie Fig. 134 B. Röhren von 1^{cm} innerer Weite sind über einer gewöhnlichen Lampe nicht mehr gut zu biegen, deshalb muß man sich mit einem Rohr von kleinerem Durchmesser begnügen, die Flüssigkeit steht dann in dem engen Rohre etwas höher, als sie nach dem oben angegebenen Satze stehen sollte.

Für die Versuche mit zwei Flüssigkeiten nimmt man Wasser und eine Flüssigkeit, die sich damit nicht mischt, also etwa Quecksilber, Aether (sogenannten Schwefeläther), Baumöl oder Steinöl, am besten das letztere. Quecksilber und Aether (spec. Gew. 0,74) haben zwar den Vortheil, die Gefäße nicht zu verschmuzen und große Unterschiede im spec. Gew. zu zeigen, das Quecksilber ist aber kostbar und wird beim Gebrauche in den etwas unhandlichen, communicirenden Gefäßen leicht vergossen, der Aether ist ebenfalls ziemlich theuer und wegen seiner Farblosigkeit aus einiger Entfernung kaum vom Wasser zu unterscheiden. Baumöl verschmiert die Gefäße am meisten und steht nicht viel höher als das Wasser, weil sein spec. Gew. 0,9 und noch mehr beträgt; das Steinöl ist leichter und verschwindet durch Verdunstung ziemlich gut wieder aus dem Gefäße, besonders wenn man nicht das unter dem Namen Petroleum käufliche nimmt, dessen spec. Gew. 0,8 oder etwas kleiner ist, sondern die wesentlich leichteren Arten, die unter den Namen Ligroin als Brennstoff für die sogenannten Wunder-

lampen und unter den Namen Petroleumäther, Petroleumnaphta oder (fälschlich) Benzin als Fleckwasser verkauft werden. Zuerst muß man immer die schwerere Flüssigkeit in die Gefäße gießen. Die Trennung der zusammengebrachten Flüssigkeiten ist ohne einigen Verlust nicht immer auszuführen, hat man nur Wasser und Steinöl, so schüttet man am besten nach gemachtem Versuche das Ganze in ein größeres Gefäß, aus dem man einen Theil des Steinöls abgießen kann, den man mittelst eines Trichters in die zur Aufbewahrung dienende Flasche zurückfließen läßt, etwas geht freilich immer verloren.

Ein Körper, welcher ganz in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, Fig. 135, wird auf allen Seiten von der Flüssigkeit gedrückt. Bei dem in der Figur dargestellten Körper sieht man leicht ein, daß der Druck auf die rechte und der auf die linke Seite einander aufheben; ein gleiches gilt von dem auf der Vorder- und Hinterfläche lastenden Druck. Dagegen ist der Druck auf die untere Fläche a b gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule von dem Volumen a b e f, der Druck auf die obere Fläche c d aber nur gleich dem Gewichte der Flüssigkeitssäule c d e f. Der Druck auf die obere Fläche ist also kleiner, als der auf die untere und zwar kleiner um das Gewicht einer Flüssigkeitssäule, welche gleich a b e f weniger c d e f, das ist gleich a b c d ist. Der Ueberschuß des Druckes von unten über den Druck von oben heißt der **Auftrieb**; dieser Auftrieb ist also gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitsmasse von gleichem Volumen mit dem untergetauchten Körper. Was sich bei einem Körper von der hier angenommenen, einfachen Form durch bloße Ueberlegung finden läßt, gilt übrigens für Körper von jeder beliebigen Form und läßt sich auch für unregelmäßig gestaltete Körper durch Versuche nachweisen. Der Auftrieb läßt den untergetauchten Körper leichter erscheinen, als er wirklich ist, man bezeichnet ihn deshalb auch als einen Gewichtsverlust des Körpers und sagt: **Ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper verliert an seinem Gewichte so viel, als die von ihm verdrängte Flüssigkeit wiegt.**

Fig. 135.



Dieser Satz heißt nach seinem Entdecker das **Archimedische Princip**.

An die Wage hängt man rechts die kurze Wagschale und an diese mittelst eines dünnen Fadens einen etwas großen Körper, etwa einen Kieselstein von einigen Hundert Gramm und bringt das Ganze durch in die linke Schale gelegte Gewichte ins Gleichgewicht. Dann läßt man den Stein eintauchen in das vorher bis zum Auslaufen gefüllte Gefäß, welches bei der Bestimmung des spec. Gewichtes (Fig. 40) früher gebraucht wurde und fängt das abfließende Wasser in einem untergestellten Gefäße auf. Sobald der Stein in das Wasser taucht, kommt die Wage aus dem Gleichgewicht und man muß aus der linken Schale Gewichte entfernen oder solche in die rechte bringen, um den Gleichgewichtszustand wieder herzustellen, wie er in Fig. 136 dargestellt ist. Das links entfernte oder rechts zugelegte Gewicht stellt den Gewichtsverlust dar, welchen der Stein unter Wasser erleidet; wägt man dann das von dem Steine verdrängte, in das untergesetzte Gefäß geflossene Wasser, so zeigt sich, daß es gerade soviel beträgt, wie dieser Gewichtsverlust.

Das Archimedische Princip läßt sich zur Ermittelung des spec. Gewichtes verwenden. Da man dieses erhält, wenn man das absolute Gewicht eines Körpers durch das Gewicht eines gleichen Wasservolumens dividirt, und da

der Gewichtsverlust eines Körpers unter Wasser das Gewichts eines solchen gleichen Wasservolumens ausdrückt, so braucht man nur einen Körper in der Luft und unter Wasser abzuwägen und das Gewicht desselben durch den Unterschied der beiden Wägungsergebnisse zu dividiren, um sein spec. Gew. zu finden. Zu diesem Zwecke bringt man zuerst in die kurz aufgehängte Wagschale soviel Bleischrot oder Sand, daß sie mit der anderen, gewöhnlichen Schale in's Gleichgewicht kommt und hängt dann an ihr den zu untersuchenden Körper mittelst eines recht dünnen Fadens so auf, daß man ihn in das Gefäß mit Wasser tauchen lassen kann. Wenn man z. B. ein Glasstück, etwa den eingeriebenen Stöpsel einer größeren Flasche in der Luft 46^{gr}, unter Wasser 26^{gr} schwer gefunden hat, so ist sein specisches Gewicht $\frac{46}{46-26}=\frac{46}{20}=2{,}3$. Ferner kann mann mit Hülfe des Archimedischen Princips das Volumen unregelmäßiger Gegenstände ermitteln. Da ein Körper für jedes Cubiccentimeter Wasser, welches er verdrängt, ein Gramm an Gewicht verliert, so ist umgekehrt ein Körper so viele Cubiccentimeter groß, als er unter Wasser Gramm Gewichtsverlust erleidet; unser Glasstöpsel hat danach ein Volumen von 20^{cc}.

Fig. 136.

¹/₄ nat. Gr.

Handelt es sich darum, den Gewichtsverlust eines Körpers zu ermitteln, der auf Wasser schwimmt, so muß man denselben mit einem anderen Körper beschweren, welcher ihn zum Untertauchen bringt und einmal den Gewichtsverlust beider Körper zusammen und dann den des schweren Körpers allein ermitteln. Will man z. B. das spec. Gew. eines Korkes ermitteln, der für sich 4^{gr} wiegt, so kann man ein Bleigewicht an denselben binden, das 23^{gr} schwer ist. Kork und Blei zusammen sind also 27^{gr} schwer. Findet man nun das gemeinschaftliche Gewicht beider unter Wasser 9^{gr}, das Gewicht des Bleies allein unter Wasser 21^{gr}, so ist der Gewichtsverlust von Blei und Kork $27 - 9 = 18^{gr}$, der des Bleies $23 - 21 = 2^{gr}$, folglich kommen auf den Kork $18 - 2 = 16^{gr}$ Gewichtsverlust und das spec. Gew. desselben ergiebt sich $\frac{4}{16} = 0{,}25$.

Endlich läßt sich auch das spec. Gew. tropfbarer Körper nach dem Archimedischen Princip ermitteln, nämlich indem man einen starren Körper einmal in Luft, einmal in Wasser und einmal in der zu untersuchenden Flüssigkeit abwägt. Der Gewichtsverlust unter Wasser giebt das Gewicht eines mit dem Körper gleich großen Wasservolumens und der Gewichtsverlust unter der anderen Flüssigkeit das Gewicht eines gleichen Volumens von

dieser. Man braucht dann die letztere Zahl nur durch erstere zu dividiren, um das gesuchte spec. Gew. zu finden. Findet man z. B., daß der oben angenommene Glasstöpsel, welcher in der Luft 46^{gr}, in Wasser 26^{gr} schwer ist, unter Weingeist 30^{gr} wiegt, so erfährt man dadurch, daß ein Weingeistvolumen von der Größe des Stöpsels $46 - 30 = 16^{gr}$, ein gleiches Wasservolumen $46 - 26 = 20^{gr}$ wiegt und folglich ist das spec. Gew. des Weingeistes $\frac{16}{20} = 0{,}8$.

Man kann die Frage aufwerfen, wohin das Gewicht kommt, welches ein eingetauchter Körper zeitweilig verliert. Wenn das Gefäß, wie in Fig. 136, eine seitliche Abflußröhre hat, so steht in diesem die Flüssigkeit nach dem Untertauchen nicht höher als vorher, es kann also auch der Druck auf den Boden dieses Gefäßes nicht größer geworden sein, dafür fließt aber Wasser in das Nebengefäß und übt auf den Boden desselben einen Druck aus, der vorher nicht da war. Taucht man dagegen einen Körper in ein Gefäß, aus dem das Wasser nicht ablaufen kann, Fig. 137, so muß das Wasser in diesem Gefäße steigen und folglich der Bodendruck zunehmen, das Gefäß erscheint also schwerer als vorher; steht es, wie die Figur zeigt, auf einer Wage und ist diese vor dem Eintauchen des Körpers im Gleichgewicht, so sinkt beim Eintauchen die Schale mit dem Gefäß nieder.

Fig. 137.



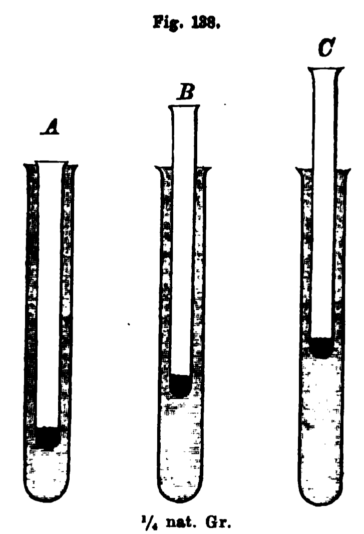
a. P. 1/5 nat. Gr.

21. Schwimmen, Aräometer. Ein Körper, dessen spec. Gew. nicht viel größer als 1 ist, d. h. der nicht viel schwerer ist als Wasser, erscheint unter Wasser sehr leicht, weil das Wasser fast sein ganzes Gewicht trägt. Einen Menschen vor dem Untersinken zu bewahren, erfordert nur eine ganz geringe Kraftanstrengung, weil ein Mensch nur wenige Kilogramme schwerer ist, als ein gleiches Volumen Wasser und also im Wasser sein ganzes Gewicht bis auf ein paar Kilogramm verliert. Hätte ein Körper genau dasselbe spec. Gew., wie eine Flüssigkeit, in die man ihn eintaucht, so wäre sein Gewichtsverlust gerade so groß, wie sein Gewicht, er würde also sein ganzes Gewicht, d. i. sein ganzes Bestreben, abwärts zu gehen, verlieren und in der Flüssigkeit schweben, d. h. an jedem Punkte verweilen, an den man ihn bringt.

Einen wirklich schwebenden Körper herzustellen, ist auf die Dauer nicht möglich, weil das spec. Gew. desselben mit dem der Flüssigkeit außerordentlich genau übereinstimmen muß, wenn er sich längere Zeit schwebend erhalten soll und weil geringe Veränderungen der Wärme das spec. Gew. der Körper zwar nur ganz wenig, aber doch hinreichend ändern, um einen schwebenden Körper zum Schwimmen oder Untersinken zu bringen. Will man einen starren Körper einige Zeit schwebend erhalten, so geht dies am leichtesten, wenn man, wie bei dem Oeltropfen (Fig. 12) als Flüssigkeit ein Gemenge von Wasser und Weingeist benutzt, das nicht ganz vollkommen durcheinander gerührt ist und folglich unten etwas weingeistärmer und schwerer ist, als oben und in dieses Gemenge ein Stück einer Stearinkerze bringt. Die Stearinsäure, aus welcher die Stearinkerzen gemacht werden, ist nur wenig leichter als Wasser, man darf deshalb dem Wasser für diesen Zweck nur wenig Weingeist zusetzen. Auch ein Hühnerei kann man lange Zeit in der Mitte einer Flüssigkeit erhalten, wenn man eine gesättigte Kochsalzlösung herstellt, auf welcher dasselbe schwimmt und diese nach und nach mit Wasser verdünnt.

Hat ein untergetauchter Körper ein kleineres spec. Gewicht, als die Flüssigkeit in der er sich befindet, so ist das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit und somit der Gewichtsverlust dieses Körpers größer, als sein Gewicht, er verliert also mehr, als sein ganzes Gewicht, d. h. er bekommt das Gegentheil von Gewicht, nämlich ein Bestreben in die Höhe zu gehen und wenn man ihn nicht unter der Flüssigkeit festhält, so folgt er diesem Bestreben, er steigt in der Flüssigkeit auf und kommt sogar ein Stück aus derselben heraus, er schwimmt. Wenn ein Körper ruhig auf einer Flüssigkeit schwimmt, so trägt diese gerade sein ganzes Gewicht, er hat dann, mit anderen Worten, gerade sein ganzes Gewicht verloren. Da nun nach dem Archimedischen Princip ein Körper soviel an Gewicht verliert, als er Flüssigkeit verdrängt, so muß das Gewicht der von einem schwimmenden Körper verdrängten Flüssigkeit gleich seinem eigenen Gewichte sein; ein 100^{gr} schwerer Körper verdrängt, wenn er auf Wasser schwimmt, 100^{gr} Wasser, d. h. es tauchen 100^{cc} des Körpers unter dem Flüssigkeitsspiegel.

Fig. 138.



¼ nat. Gr.

Auch hiervon kann man sich leicht überzeugen mit Hülfe des Gefäßes mit seitlicher Ausflußöffnung. Dasselbe wird bis zum Ablaufen mit Wasser gefüllt und dann ein abgewogener Körper, welcher leichter als Wasser ist, hineingebracht und das infolge davon ablaufende Wasser aufgefangen und gewogen; man wird dasselbe genau so schwer finden, wie der schwimmende Körper war.

Wenn der Versuch ein genaues Resultat geben soll, darf der aus dem Wasser vorragende Theil des schwimmenden Körpers sich nicht an die Wandung des Gefäßes anlegen, wie es z. B. bei einem Holzstück leicht geschieht, recht gut eignet sich zu dem Versuche ein Apfel.

Ein und derselbe Körper sinkt beim Schwimmen in verschiedenen Flüssigkeiten verschieden tief ein. In ein ziemlich großes Probirglas, das man in einem Retortenhalter befestigt, gieße man soviel Weingeist, daß derselbe bis oben hin steigt, wenn man ein kleines Probirglas fast ganz hinein taucht

und werfe dann in dieses kleinere Glas soviele Schrotkörner oder kleine Steinchen, daß es eben noch schwimmt, Fig. 138 A. Dann fülle man das größere Glas anstatt des Weingeistes mit Wasser und setze das kleinere wieder ein, es wird nur etwa $^4/_5$ soweit einsinken, als im Weingeist (Fig. 138 B) und wenn man schließlich das Wasser durch eine gesättigte Kochsalzlösung ersetzt, so sinkt das schwimmende Gläschen noch weniger tief ein (Fig. 138 C). Der Grund davon ist leicht einzusehen. Die verdrängte Flüssigkeit muß jedes Mal so schwer sein, wie das schwimmende Glas. Wiegt dieses 12^{gr}, so werden 12^{cc} davon in Wasser einsinken. Vom Weingeist wiegt 1^{cc} nur etwa $0^{gr},8$, folglich haben 12^{gr} Weingeist ein Volumen von $\frac{12}{0,8} = 15^{cc}$, während 12^{gr} Kochsalzlösung, von welcher 1^{cc} etwa $1^{gr},2$ wiegt, nur ein Volumen von $\frac{12}{1,2} = 10^{cc}$ haben, es sinken also im Weingeist 15^{cc}, in der Salzlösung 10^{cc} des Gläschens ein. **Die Volumina, welche ein und derselbe Körper beim Schwimmen in verschiedenen Flüssigkeiten verdrängt, verhalten sich umgekehrt wie die specifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten**, denn $15^{cc} : 12^{cc} = 1 : 0,8$ und $12^{cc} : 10^{cc} = 1,2 : 1$.

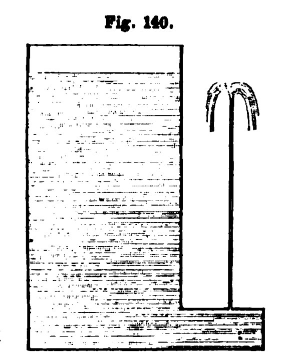
Fig. 139.

A B C

$^1/_3$ nat. Gr.

Auf dem eben erläuterten Satze beruht die Einrichtung der **Senkwagen** oder **Aräometer**. Es sind dies Instrumente aus Glas von einer der in Fig. 139 dargestellten Formen. Dieselben sind unten mit Quecksilber (oder Bleischrot) beschwert, damit sie aufrecht schwimmen und oben mit einer (im Innern angebrachten) Eintheilung versehen. Sie sind entweder so eingerichtet, daß man an der Stelle, bis zu der sie in einer Flüssigkeit einsinken, ohne weiteres das spec. Gew. derselben ablesen kann, oder sie lassen erkennen, welche Zusammensetzung ein Gemisch aus zwei bestimmten Substanzen hat; z. B. wieviel ein gewöhnlicher Spiritus reinen Weingeist und wieviel er Wasser enthält (Spirituswagen) oder sie sind endlich mit einer willkürlich gewählten Eintheilung versehen. Unter den Aräometern der letzten Art wird insbesondere das nach **Baumé's** Angabe eingetheilte in Färbereien, Seifensiedereien u. dergl. häufig benutzt, um die Stärke von Flüssigkeiten danach anzugeben. Ein Baumé'sches Aräometer soll in Wasser bis zu dem mit 0, in englischer Schwefelsäure bis zu dem mit 66 bezeichneten Theilstriche einsinken; die einzelnen, gleich weit voneinander abstehenden Theile nennt man Grade. Man kann mittelst eines Baumé'schen Aräometers auch das spec. Gew. einer Flüssigkeit finden nach folgender Regel: man zieht die Anzahl Grade, welche die Flüssigkeit am

Fig. 140.



Aräometer zeigt, von 144 ab und dividirt mit dem Rest in 144, der Quotient ist das gesuchte spec. Gew. Sinkt das Instrument in einer Flüssigkeit bis zu 20° ein, so ist das spec. Gew. derselben $\frac{144}{144-20} = \frac{144}{124} = 1{,}16$.

22. Ausfluß, Springbrunnen, Reaction, Wasserschraube. Wenn ein (oben offenes) Gefäß voll Flüssigkeit unterhalb des Flüssigkeitsspiegels eine Oeffnung hat, so fließt die Flüssigkeit infolge ihrer Schwere aus und, wenn die Oeffnung nicht zu nahe unter der Oberfläche liegt, so daß dort ein beträchtlicher Druck herrscht, so bildet die ausfließende Flüssigkeit einen Strahl. Ist eine solche Oeffnung nach oben gerichtet, wie in Fig. 140, so springt der ausfließende Strahl in die Höhe und zwar um so höher, je höher der Flüssigkeitsspiegel über der Ausflußöffnung liegt. Würde die Geschwindigkeit des austretenden Strahles nicht durch die Reibung an den Gefäßwänden und an den Rändern der Ausflußöffnung und durch den Widerstand der Luft verringert, so müßte der Strahl bis zur Höhe des Flüssigkeitsspiegels emporsteigen; die genannten Bewegungshindernisse vermindern aber die Sprunghöhe des Strahles bedeutend, zumal, wenn das Gefäß nicht überall sehr weit ist, wie Fig. 140, sondern ein Theil desselben eine enge Röhre bildet (wie in Fig. 141). Bei den gewöhnlichen Springbrunnen ist ein hochliegender Wasserbehälter mit der tieferliegenden Ausflußmündung verbunden durch eine ziemlich lange Röhrenleitung; wegen der beträchtlichen Reibung in dieser Leitung erreicht der Strahl eines solchen Springbrunnens bei weitem nicht die Höhe, von der das Wasser herabkommt.

Fig. 141.



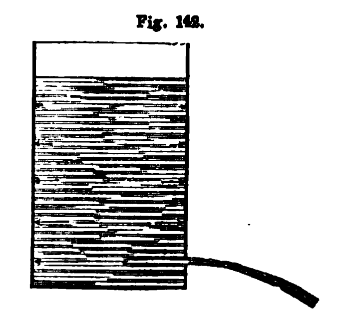
1/5 nat. Gr.

Im Kleinen läßt sich ein Springbrunnen auf ziemlich verschiedene Weise herrichten. Man kann von einer Flasche den Boden absprengen, indem man einige Centimeter über dem Boden mit der dreikantigen Feile eine ziemlich tiefe Kerbe einfeilt, auf diese die glimmende Sprengkohle hält, bis ein Sprung entsteht und diesen ringsherum führt (zu dicht über dem Boden gelingt das Sprengen nicht gut). In den Hals dieser Flasche befestigt man mittelst eines durchbohrten (nöthigenfalls mit Siegellack zu verkittenden) Korkes eine 50 bis 80^{cm} lange Glasröhre von etwa 5^{mm} Weite, die man zuvor an einem Ende zu einer feinen Spitze ausgezogen und zweimal rechtwinkelig umgebogen hat, wie Fig. 141 zeigt. Die Flasche wähle man so, daß sich ihr Hals in einen Retortenhalter spannen läßt; anstatt der in der Figur gezeichneten Form kann man recht wol auch eine Weinflasche nehmen oder auch einen Glastrichter, bei dem man kein Absprengen nöthig hat. Mit Hülfe eines leidlich langen Kautschuckschlauches, der später wieder zu anderen Zwecken dienen kann, erhält man am schnellsten einen Springbrunnen, indem man ein Ende desselben über den Hals eines Trichters schiebt oder, wenn dieser zu dick sein sollte, über eine mit Kork eingesetzte Glasröhre und das andere Ende mit einem kurzen, zu einer Spitze ausgezogenen Glasröhre versieht, die man in der Hand hält oder in einem Retortenhalter befestigt; der Trichter wird jedenfalls in einen solchen Halter eingeklemmt. Um den Strahl

möglichst hochspringend zu erhalten, ist es in der Regel nöthig, ihn ein wenig schräg zu richten, steigt er ganz senkrecht, so drücken die zurückfallenden Tropfen den aufsteigenden Strahl nieder, indem sie sich zu einem Knaul zusammenballen. Den das Wassergefäß tragenden Halter setzt man zweckmäßig an den Rand des Tisches und sichert seine Stellung durch Anpressen mit einer Schraubzwinge, die Fallröhre kann dann neben dem Tische abwärts gehen; eine große Schüssel oder ein Fäßchen dient zum Auffangen des Wassers. Eine noch etwas bessere Art, einen Springbrunnen herzustellen, wird später beim Heber erwähnt werden.

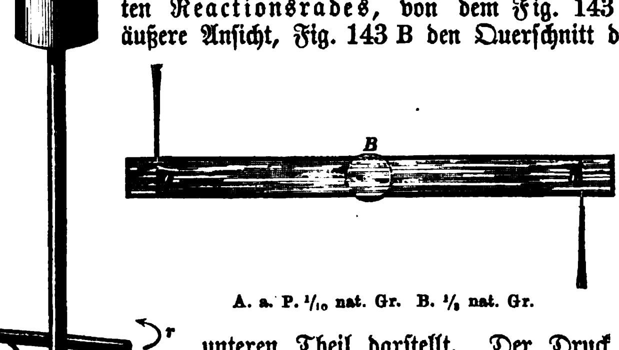
In einem Gefäße, dessen Seitenwände keine Oeffnung haben, wie Fig. 114, 115 und 116, findet nach rechts soviel Druck statt, wie nach links, nach vorn soviel, wie nach hinten, es ist kein Bestreben da, das Gefäß seitlich zu verschieben. Wird aber in eine Wand eine Oeffnung gemacht, so daß da Flüssigkeit ausfließt, Fig. 142, so hört das Gleichgewicht des Seitendrucks auf. Ist die Oeffnung, wie in der Figur, auf der rechten Seite, so ist die rechte Wand dann etwas zu klein; es fehlt ein Stück derselben und der Druck auf den übrigen Theil derselben muß etwas kleiner sein, als der Druck auf die undurchbrochene, linke Wand; es bleibt also ein Ueberschuß von Druck in der Richtung nach links und wenn das Gefäß sehr leicht beweglich wäre, so würde es durch diesen Druck nach der linken Seite fortgetrieben werden. In ähnlicher Weise findet immer beim Ausfließen eines Flüssigkeitsstrahles ein Druck auf die der Ausflußöffnung gegenüberliegende Wand und somit in der dem Strahle entgegengesetzten Richtung statt, den man den rückwirkenden Druck oder die Reaction nennt.

Fig. 142.



Eine Bewegung läßt sich durch den rückwirkenden Druck leicht hervorbringen mit Hülfe eines sogenannten Reactionsrades, von dem Fig. 143 A eine äußere Ansicht, Fig. 143 B den Querschnitt durch den unteren Theil darstellt. Der Druck auf die den Ausflußöffnungen gegenüberliegenden Theile der Arme, welcher durch die mit a und b bezeichneten Pfeile angedeutet ist, bewirkt eine Drehung in der Richtung des Pfeiles r. Reactionsräder werden im Großen wirklich angewendet, um Maschinen durch Wasserkraft in Bewegung zu versetzen; diese haben eine andere Form, als die hier dargestellte, beruhen aber auf denselben Grundsätzen. Man läßt dort das von einem höheren Punkte

Fig. 143.

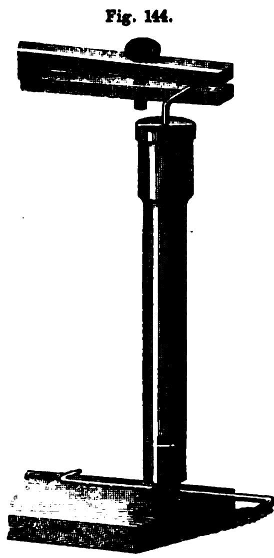


A. a. P. $^1/_{10}$ nat. Gr. B. $^1/_3$ nat. Gr.

kommende Wasser nicht von oben in das Rad treten, sondern leitet es durch ein Rohr von unten her zu, welches so eingepaßt ist, daß es wasserdicht schließt und doch eine Drehung des Rades gestattet. Aehnliche Reactionsräder benutzt man im Kleinen zu Verzierungen an Springbrunnen.

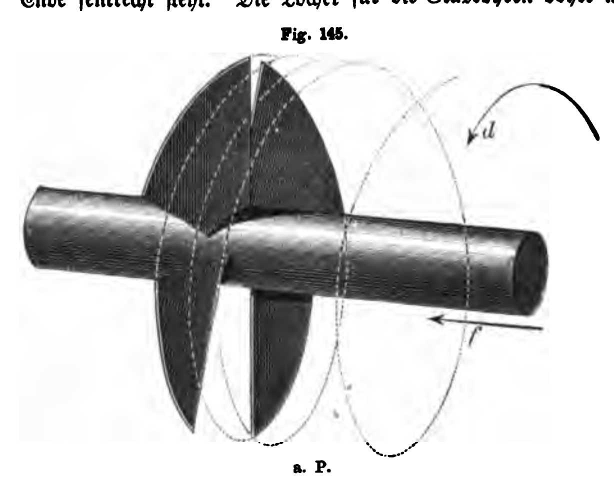
Auf folgende Weise kann man sich leicht ein Reactionsrad selbst machen: Auf das weitere Ende eines Lampencylinders kittet man mit Siegellack einen Blechring, über den man zuvor einen Blechstreifen gelöthet hat, welcher genau in der Mitte ein Loch von 2 bis 3^{mm} Weite hat, das man bohren oder auch mit dem Durchschlag erzeugen kann. In das andere Ende paßt man einen etwas langen Kork, der in der Mitte eine stumpfe Stahlspitze und an beiden Seiten Glasröhren trägt. Die Stahlspitze wird aus einem Drahtstück gemacht, welches 25^{mm} länger ist, als der Kork, so daß sie durch den ganzen Kork hindurchgeht und, wenn dieser 5^{mm} tief in den Glascylinder hineingedrückt ist, noch 2^{cm} aus dem Cylinder hervorsteht. Der Stahldraht soll im Kork fest sitzen, man sticht deshalb nur mit der Pfrieme ein Loch vor, das man aber nicht ausweitet; besondere Sorgfalt verwende man darauf, das Loch recht gerade zu stechen, damit die Spitze nicht schief zu stehen kommt. Eine 4^{mm} weite, 25 bis 30^{cm} lange Glasröhre zieht man in der Mitte so weit aus, daß die dünne Stelle nur noch $1^{mm},5$ weit ist, ritzt sie da mit der Feile und bricht sie entzwei. Die Spitzen, die man so erhält, sollen nicht schlank sein, sondern kurz zulaufen, man erreicht das dadurch, daß man die Röhre gleich von Anfang an zieht, indem man sie in der Lampenflamme fortwährend dreht und nicht erst gar zu weich werden läßt, ehe man anfängt zu ziehen. Die beiden Röhrenstücken werden dann 2 bis 3^{cm} von jedem Ende rechtwinkelig umgebogen, so daß das verengerte Ende wagrecht liegt, wenn das weitere Ende senkrecht steht. Die Löcher für die Glasröhren bohrt man zu beiden Seiten des Stahlstiftes so in den Kork, daß sie von dem Stift und vom Rande des Korkes gleich weit abstehen. Nachdem das Ganze in der aus Fig. 144 ersichtlichen Weise zusammengestellt ist, verkittet man den Kork mit Siegellack, wobei man wieder das Löthrohr anwendet, wie früher angegeben; natürlich muß man dabei das in der Figur unten befindliche Ende oben haben, man läßt das Siegellack gehörig erkalten, ehe man die Vorrichtung anwendet. In ein Blechstückchen schlägt man mit dem Körner eine Vertiefung, in welche die Stahlspitze zu stehen kommt und bohrt außerdem zwei Löcher hinein, um es mit Holzschrauben auf dem Fußbrett eines Retortenhalters befestigen zu können; ein Draht von solcher Dicke, daß er leicht durch

Fig. 144.



a. P. 1/4 nat. Gr.

Fig. 145.

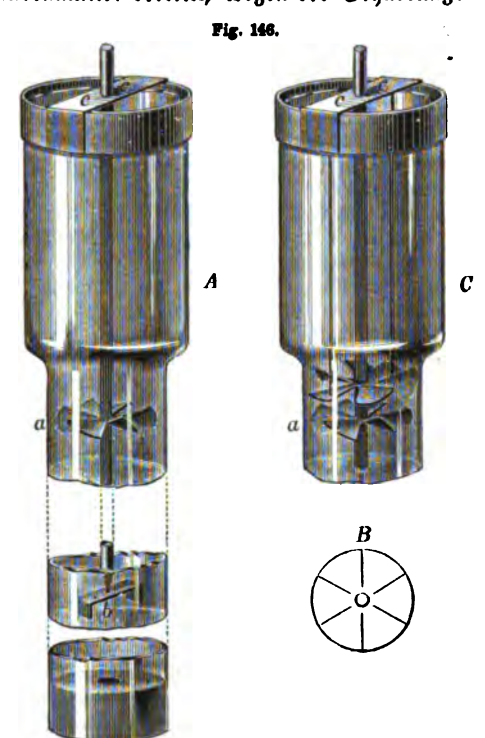


a. P.

das Loch des Querstreifens am oberen Theile der Vorrichtung geht, wird rechtwinkelig umgebogen und im Retortenhalter befestigt, wie die Figur zeigt. An den abwärts gebogenen Draht und in die Körnervertiefung giebt man einen Tropfen Oel, um eine möglichst leichte Beweglichkeit zu erzielen. Das Ganze stellt man am besten in ein kleines Fäßchen, um das Herumspritzen des Wassers zu vermeiden. Durch Zugießen aus einem mit Ausguß versehenen Topfe kann man den Glascylinder mit Wasser füllen und einige Zeit voll erhalten, er kommt in ziemlich geschwinde Drehung; bringt man anstatt zweier Ausflußöffnungen deren vier an, so wird die Bewegung noch lebhafter.

Ein Rad, welches aus mehreren (etwa 4 oder 6) schiefstehenden Flügeln gebildet ist, wie Fig. 145, kann man ansehen als ein ganz kurzes Stück einer mehrgängigen (viergängigen, sechsgängigen) Schraube; wird ein solches Rad unter Wasser gedreht, so sucht es sich im Wasser fortzuschrauben, weil das Wasser, welches dabei die Stelle der Schraubenmutter vertritt, wegen des Beharrungsvermögens an seiner Stelle bleiben will. Der Pfeil f giebt die Richtung an, nach welcher das Rad fortzugehen strebt, wenn man es in der Richtung des Pfeiles d dreht; derartige Schraubenräder (Wasserschrauben) dienen bekanntlich vielfach zur Fortbewegung der Dampfschiffe.

Fig. 146.



A u. C a. P. 1/2 nat. Gr. B 1/2 nat. Gr.

Wird dagegen eine solche Wasserschraube an ihrer Stelle festgehalten, so daß sie sich drehen, aber nicht verschieben kann, während das sie umgebende Wasser in Bewegung ist, so tritt eine Drehung derselben ein und zwar in der Richtung des Pfeiles d, wenn das Wasser in der dem Peile f entgegengesetzten Richtung fließt.

Ein weites Glasrohr, am einfachsten wieder ein Lampencylinder wird, wie beim Reactionsrad, mit einem Blechring und einem durchlöcherten Querstreifen versehen, der Ring aber nicht mit Siegellack aufgekittet, sondern lose gelassen, so daß man ihn nach Belieben abnehmen und wieder aufsetzen kann. Ferner wird ein Blechstreif (am besten Messingblech) von 4^{cm} Länge und 5^{mm} Breite in der Mitte mit einer Körnervertiefung versehen und an den Enden so umgebogen, daß er sich mit mäßiger Reibung in den Glascylinder schieben läßt, in dessen Mitte man ihn festkittet. Das Festkitten geschieht, indem man ein ganz kleines (höchstens erbsengroßes) Siegellackstückchen dicht neben das eine, umgebogene Ende des Blechstreifens schiebt und dann den Cylinder von außen vorsichtig bis zum Schmelzen des Siegellacks erwärmt; das Lack fließt dabei von selbst zwischen das Glas und den Blechstreifen hinein; ist ein Ende auf diese Weise befestigt und das Ganze erkaltet, so verfährt man ebenso mit dem anderen Ende. In das untere Ende des Glases kommt ein Kork mit einer 8 bis 10^{mm} weiten Durchbohrung. Als Axe für die herzustellende Wasserschraube dient ein schön gerades

Stück von 3^{mm} dickem Stahldraht, das man etwas mehr als halb so lang nimmt als den Glascylinder und an einem Ende stumpfspitzig zufeilt. Aus dünnem Messingblech schneidet man eine kreisrunde Scheibe, deren Durchmesser etwa 1^{mm} kleiner ist, als die innere Weite des Glascylinders bei a, Fig. 146 A, und versieht dieselbe in der Mitte mit einem Loch von solcher Größe, daß der Stahldraht streng hineinpaßt. Es ist dies leicht zu erreichen, wenn man das Loch erst zu eng bohrt oder durchschlägt und dann mit der Reibahle vorsichtig aufweitet. Alsdann löthet man die Blechscheibe auf den Draht an solcher Stelle auf, daß sie in die Höhe von a kommt, wenn man die Spitze des Drahtes in die Körnervertiefung des Blechstreifens b stellt. Von sechs gleich weit voneinander abstehenden Punkten des Randes her schneidet man dann mit der Blechscheere bis auf etwa $1^{mm},5$ Entfernung von der Axe herein, wie Fig. 146 B andeutet; dadurch entstehen sechs Flügel, denen man durch Biegen mit der Flachzange die schräge Stellung giebt, wie sie Fig. 146 A zeigt. Das Loch in dem Querstreifen c c wird mit der Reibahle so weit gemacht, daß der Stahldraht ganz lose, aber ohne unnöthig darin zu schlottern, hindurchgeht; dann setzt man das Rad in das Glasrohr und schließlich den Blechring mit dem Querstreifen auf. Die fertige Vorrichtung spannt man in einen Halter, verschließt die Durchbohrung des Korkes durch einen Finger der linken Hand und gießt mit der rechten Hand den Cylinder voll Wasser. Läßt man, nachdem ein passendes Gefäß untergesetzt ist, durch theilweise oder gänzliche Fortnahme des Fingers das Wasser ausfließen und hält den Cylinder durch starkes Nachgießen dauernd voll, so geräth die Wasserschraube in Drehung.

Die hier beschriebene Vorrichtung läßt sich durch eine kleine Vervollständinung so einrichten, daß sie ein annäherndes Modell einer Henschel'schen Turbine bildet, die man neuerdings vielfach zum Treiben von Maschinen in großem Maßstabe construirt. Man braucht nämlich nur über dem beweglichen Rade ein feststehendes anzubringen, dessen Schaufeln nach der anderen Richtung geneigt sind, als die des ersten. Man schneidet eine zweite Blechscheibe von solcher Größe, daß sie gerade in den engeren Theil des Glascylinders hineingeht, versieht dieselbe mit einem Loche, das wenigstens 1^{mm} größer ist, als die Dicke des Stahldrahtes und schneidet sie in ähnlicher Weise mit der Scheere ein, wie die erste Scheibe. Durch die Scheere bekommen die Schaufeln schon eine schwache Biegung, aber nach der Seite, wie sie beim beweglichen Rade gebogen sind; ehe man ihnen mit der Flachzange die entgegengesetzte Biegung ertheilt, muß man die Scheibe mit dem Holzhammer eben klopfen, sonst verdirbt man sie leicht. An zwei einander gegenüberstehende Schaufeln löthet man Messingdrähe (etwa 1^{mm} stark) an, deren anderes Ende an den blechernen Querstreifen festgelöthet wird. Die Länge dieser Drähte soll so bemessen sein, daß das feste Rad so nahe über das bewegliche zu stehen kommt, als möglich ist, ohne daß sie zusammenstoßen. Fig. 146 C zeigt den oberen Theil des vervollständigten Apparates. Macht man sich zwei Blechringe mit Querstreifen, den einen mit diesem zweiten Rädchen, den anderen ohne dasselbe, so überzeugt man sich leicht, daß das Turbinenmodell eine viel kräftigere Bewegung giebt, als die bloße Wasserschraube; die Schaufeln des feststehenden Rades (Leitschaufelrad) geben dem durchfließenden Wasser eine solche Richtung, daß es stärker auf das bewegliche Rad wirkt, als wenn es einfach senkrecht niederfließt.

Fließt Wasser mit ziemlicher Geschwindigkeit durch ein Rohr, das sich an einer Stelle erweitert, so treten eigenthümliche Erscheinungen ein, die wir aber erst nach der Lehre vom Luftdruck betrachten können.

Molekularverhältnisse tropfbarer Körper.

23. Adhäsion, Benetzung, Capillarität, Lösung, Diffusion, Endosmose. Von den Erscheinungen, welche durch die Molekularkräfte der tropfbaren Körper bedingt sind, haben wir einige schon in der Einleitung (§. 3 und 4) kennen gelernt, insbesondere die der Oberflächenspannung. Adhäsion

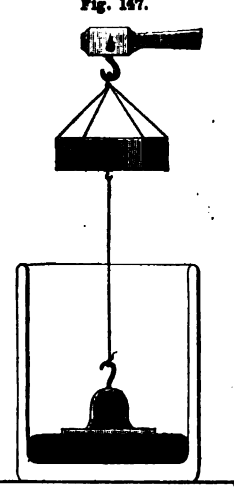
zeigen die tropfbaren Körper in Berührung mit starren Körpern sehr leicht, weil sie sich infolge ihrer großen Leichtbeweglichkeit an diese bei jeder beliebigen Form derselben anlegen. Man braucht die Hand nur in Wasser zu tauchen, um beim Wiederherausziehen das Anhaften von Tropfen zu bemerken.

Bringt man zwischen die gläsernen Adhäsionsplatten einen Tropfen Wasser, so haften sie sehr fest zusammen. Durch unmittelbares Hängenbleiben läßt sich aber nicht in jedem Falle das Vorhandensein der Adhäsion zwischen starren und tropfbaren Körpern wahrnehmen. An fettigen Körpern bleibt Wasser oft nur in geringem Grade, an staubigen häufig gar nicht hängen.

Bestaubt man eine Fläche (ein Brett oder den Tisch) mit Bärlappsamen (Hexenmehl, Semen Lycopodii), was am besten geschieht, indem man diesen in ein weithalsiges Gläschen (sog. Opodeldocglas) bringt, das mit leichtem Zeug (am besten Müllergaze) verbunden wird, und läßt dann Wassertropfen darauf fallen, so breiten sich diese nicht wie sonst aus, sondern laufen, kugelartig bleibend, darüber hin.

Streut man eine nicht zu dünne Schicht dieses Bärlappsamens auf eine Schüssel Wasser, so kann man mit der Hand ziemlich tief hineingreifen, ohne naß zu werden. Aus diesen Versuchen darf man aber nicht schließen, daß zwischen dem Wasser und den feinen, harzigen Körnchen des Bärlappsamens keine Adhäsion stattfindet, der Bärlappsamen verhindert nur die Berührung des Wassers mit dem Tische und der Hand; man braucht nur die ausgespritzten Tropfen auf der bestäubten Fläche anzusehen, um sich zu überzeugen, daß die Bärlappkörnchen an dem Wasser hängen bleiben.

Fig. 147.



$1/4$ nat. Gr.

In anderen Fällen aber findet wirklich kein Haften der Flüssigkeit am starren Körper statt. Taucht man den Finger, eine Glasröhre, ein Siegellackstück, einen Bleistift oder dergl. in reines Quecksilber und zieht sie wieder zurück, so bleibt nichts daran hängen, ebenso wenig breiten sich Quecksilbertropfen auf einem Tische flach aus, sie verhalten sich wie die Wassertropfen auf der bestaubten Fläche. Von den bekannteren Stoffen werden nur die Metalle mit Ausnahme des Eisens vom Quecksilber benetzt und auch diese nur, wenn sie eine reine Oberfläche haben. Es läßt sich aber leicht zeigen, daß auch dann, wenn kein Benetzen eintritt, Adhäsion stattfindet. Ein viereckiges oder rundes Plättchen von Glas wird in wagrechter Lage an der kurzen Schale der Wage aufgehängt und diese in's Gleichgewicht gebracht, dann bringt man unter das Glasplättchen ein Glas mit etwas Quecksilber so, daß das Glas eben die Oberfläche desselben berührt, Fig. 147; sofort legt sich das Glas dicht an das Quecksilber an und man muß in die andere Schale der Wage einige Gramm Gewichte bringen, wenn man das Glasplättchen wieder losreißen will.

Stellt man denselben Versuch mit Wasser anstatt des Quecksilbers an, so zeigt sich, daß es nur etwa den dritten Theil der beim Quecksilber

erforderlichen Kraft bedarf, um das Losreißen zu bewirken. Daraus darf man aber nicht etwa den Schluß ziehen, daß die Adhäsion des Wassers am Glase nur ein Drittel so groß sei, als die des Quecksilbers, denn die Gewichte, die man beim Abheben des Glases von dem Wasser gebraucht hat, haben in Wirklichkeit gar nicht die Adhäsion zwischen Wasser und Glas aufgehoben; es bleiben ja bei der Trennung Wassertropfen an der Glasplatte hängen, die von dem übrigen Wasser losgerissen werden; es wird also in Wirklichkeit der Zusammenhang des Wassers überwunden. **Eine Flüssigkeit benetzt einen Körper**, wenn ihre Theilchen an diesem Körper fester haften, als sie untereinander zusammenhängen, d. h. **wenn die Cohäsion der Flüssigkeit kleiner ist als ihre Adhäsion an diesem Körper; ist dagegen die Cohäsion größer, als die Adhäsion, so findet keine Benetzung statt.**

Die Glasplatte sprengt man 2 bis 3^{cm} groß kreisförmig aus einem Stück Fensterglas oder läßt sie vom Glaser viereckig schneiden. Sie wird vorsichtig so weit erwärmt, daß ein kleines Stück Siegellack darauf festschmilzt; ein 2^{cm} langes Stückchen Eisendraht biegt man an einem Ende zu einem Häkchen, macht das andere Ende heiß, steckt es in das Siegellack hinein und richtet es so, daß die Glasplatte wagrecht schwebt, wenn man das Häkchen an einem Faden aufhängt.

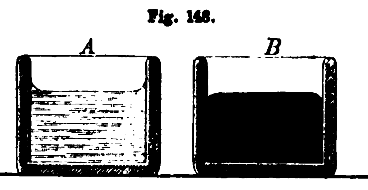
Das zu dem vorerwähnten Versuche und zu vielen anderen physikalischen Zwecken dienende Quecksilber muß rein sein, weil nur Quecksilber, welches frei von fremden Beimischungen ist, eine dauernd blanke Oberfläche behält; unreines Quecksilber wird an der Oberfläche trübe, matt und legt sich schließlich an Glas und andere Körper an, dieselben mit einer grauen Haut überziehend. Eine Verunreinigung durch Staub und dergleichen ist leicht zu beseitigen; man darf nur ein Stückchen Fließpapier nach Art einer Düte so zusammendrehen, daß es einen Trichter bildet, der unten nur eine nadelfeine Oeffnung hat; gießt man das Quecksilber durch einen solchen Trichter, so bleiben die Unreinigkeiten darin sitzen. Der letzte Theil des Quecksilbers läuft auch nicht durch, man kann denselben durch gelindes Zusammendrücken der Trichterspitze zwischen den Fingern zum größten Theile noch auspressen, man hüte sich aber, zu stark zu drücken, weil sonst auch Schmutz durch die kleine Oeffnung geht, man schütte lieber den letzten Rest von unreinem Quecksilber in ein besonderes Gläschen; zu gewissen Versuchen, die wir später betrachten, ist es auch im unreinem Zustande zu gebrauchen. Ist das Quecksilber feucht geworden, so entferne man das Wasser, was sich nicht abgießen läßt, soweit als möglich durch Auffaugen mittelst Fließpapieres und filtrire schließlich noch durch den Papiertrichter. Schlimmer als die vorerwähnten Verunreinigungen sind die durch Metalle. Das Quecksilber besitzt nämlich die Fähigkeit, Metalltheile aufzulösen und das durch solche verunreinigte Quecksilber wird zwar durch Filtriren im Papiertrichter augenblicklich blank, läßt aber im Trichter einen bedeutenden Rückstand und läuft schnell wieder an; ist die Verunreinigung irgend beträchtlich, so verliert es seine große Beweglichkeit und bildet, selbst frisch filtrirt, eine von feinen Faltenstreifchen bedeckte Oberfläche. Die Reinigung des Quecksilbers von beigemengten Metallen ist aber eine schwierige Arbeit, die man nicht selbst vornehmen kann. Man hüte sich deshalb nicht nur, anderes, als gut gereinigtes Quecksilber zu kaufen, sondern vermeide auch sorgfältig, dasselbe mit anderen Metallen, als Eisen, in Berührung zu bringen. Am gefährlichsten ist die Berührung mit edlen Metallen, Gold oder Silber, weil diese meist eine blanke Oberfläche haben; man verdirbt dabei nicht nur das Quecksilber, sondern auch das Gold oder Silber; darum lege man etwaige Schmuckgegenstände aus diesen Metallen stets ab, wenn man mit Quecksilber zu thun hat. Ferner darf nicht unerwähnt bleiben, daß das Quecksilber giftig ist, wenn auch durchaus nicht in dem Grade, wie vielfach geglaubt wird und besonders nicht in dem Maße, wie gewisse Verbindungen des Quecksilbers mit anderen Stoffen. Manche Verbindungen des Quecksilbers gehören zu den stärksten Giften, die es überhaupt giebt, dagegen kann man bei einiger Vorsicht ohne jede Gefahr mit reinem Quecksilber umgehen; man hüte sich nur, etwas davon in den Mund zu

bekommen, oder gar zu verschlucken; eine bloße Berührung mit der Hand ist vollkommen unschädlich, doch wird man auch diese nicht ohne Zweck vornehmen, schon um das Quecksilber nicht durch die der Haut immer anhaftenden Spuren von Fett und Feuchtigkeit zu verunreinigen. Das Quecksilber darf nicht erhitzt werden, es nimmt dabei einen Bestandtheil der Luft, das Sauerstoffgas in sich auf und wird dadurch nicht nur für unsere Zwecke unbrauchbar, sondern auch bedeutend giftiger.

Das Quecksilber ist ziemlich theuer, das Kilogramm davon kostet ohngefähr $2^1/_2$ Thaler und soviel muß man haben, wenn man die hier beschriebenen Versuche mit einiger Vollständigkeit anstellen will; es sind dies ohnehin nur etwa $73^{cc},5$, da 1^{cc} davon $13^{gr},6$ wiegt; bequemer ist es, wenn man eine etwas größere Menge davon kaufen kann. In jedem Falle muß man sorglich vermeiden, etwas davon zu verlieren, was bei seiner großen Leichtbeweglichkeit und seiner beträchtlichen Schwere leicht geschieht. Fällt etwas Quecksilber aus Tischhöhe auf den Fußboden, so zerspritzt es in so feine Tröpfchen, daß man in der Regel nur das wenigste davon wieder zusammenbringt. Womöglich läßt man sich ein Brett von der Größe eines gewöhnlichen Reißbrettes machen, daß mit einem 3 bis 4^{cm} hohen Rande versehen ist; in diesem flachen Kasten stellt man alle Versuche mit Quecksilber an. Wenn die Fugen desselben nicht ganz gut zusammenstoßen oder sich mit der Zeit durch Austrocknen auseinander geben, verstreicht man sie mit Glaserkitt oder klebt den ganzen Kasten mit Papier aus. Anstatt des hölzernen Kastens kann allenfalls auch ein solcher aus starker Pappe dienen, den man aus einem großen Pappbogen herstellt. Die Eckfugen beklebt man, um sie dicht zu machen, innen mit Papier, außen aber, um dem Ganzen die erforderliche Festigkeit zu geben, mit starkem Leinwandband, das mit ziemlich dickflüssigen Leim bestrichen wird.

Die freie Oberfläche einer Flüssigkeit bildet eine wagrechte Ebene, indessen nur, wenn sie einigermaßen groß ist und auch dann nicht überall; am Gefäßrande und wo sie sonst mit einem starren Körper zusammenstößt, zeigt sie eine Krümmung und zwar ist diese Krümmung verschieden, je nachdem der Körper, an dem die Flüssigkeit grenzt, von derselben benetzt wird oder nicht. An Körpern, welche benetzt werden, ist die Krümmung der Flüssigkeitsoberfläche hohl (concav), an solchen, welche nicht benetzt werden gewölbt (convex); Fig. 148 A zeigt die Oberflächenform von Wasser, Fig. 148 B die von Quecksilber in einem Glase. In Röhren, welche unter 1^{cm} weit sind, ist die ganze Flüssigkeitsoberfläche gekrümmt; taucht man eine solche Röhre in eine größere Flüssigkeitsmenge, so steht diese nicht innen so hoch wie außen, sie steigt vielmehr in der Röhre über den äußeren Flüssigkeitsspiegel in die Höhe, wenn sie die Röhre benetzt. Dieses Aufsteigen ist besonders deutlich, wenn die betreffenden Röhren sehr eng sind; ganz enge Röhren nennt man Haarröhrchen oder Capillarröhren, und danach wird diese Erscheinung als Haarröhrchenwirkung (Capillarität) bezeichnet. Nichtbenetzende Flüssigkeiten stehen infolge der Haarröhrchenwirkung in eingetauchten Röhrchen tiefer, als außen. Wir müssen uns begnügen, einige Versuche über die Capillarerscheinungen anzustellen; eine Erklärung, wie diese Erscheinungen durch die Molekularkräfte hervorgerufen werden, ist hier nicht möglich.

Fig. 148.



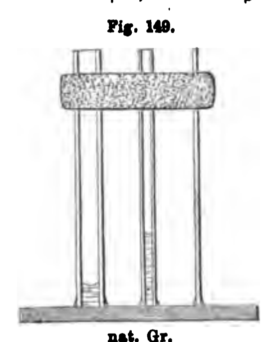
nat. Gr.

Taucht man mehrere Röhrchen von verschiedener Weite nebeneinander in eine Flüssigkeit, welche sie benetzt, so zeigt sich, daß diese um so höher steigt, je enger die Röhrchen sind (Fig. 149); ist ein Röhrchen halb so weit, als ein anderes, so steigt die Flüssigkeit darin doppelt so hoch als in jenem; ist

es ein Drittel so weit, so steigt sie dreimal so hoch: **Die Steighöhe einer Flüssigkeit in Capillarröhren ist dem Durchmesser derselben umgekehrt proportional.**

Taucht man ein enges Glasröhrchen in Quecksilber, so steht dieses darin tiefer, als außerhalb; man kann aber nichts davon sehen, weil das Quecksilber undurchsichtig ist. Will man sichtbar machen, daß Quecksilber in engen Röhren zu tief steht, so verwendet man am besten communicirende Röhren, von denen eine sehr eng ist, Fig. 150.

Fig. 149.

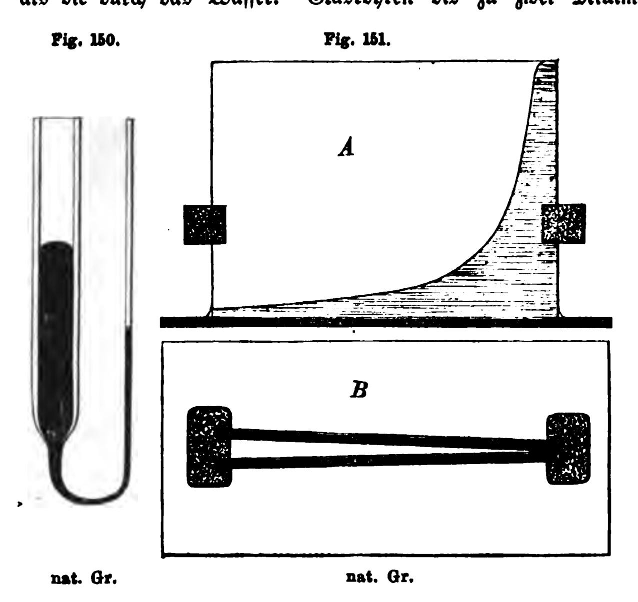


nat. Gr.

Daß eine benetzende Flüssigkeit zwischen festen Wänden um so höher aufsteigt, je näher diese beisammen sind, zeigt sich recht deutlich, wenn man in eine Flüssigkeit zwei rechteckige Glasplatten bringt, die auf einer Seite sich berühren, auf der anderen einige Millimeter voneinander abstehen, die Grenze der aufsteigenden Flüssigkeit bildet eine eigenthümlich gekrümmte Linie, wie sie aus Fig. 151 A zu ersehen ist, welche die Platten von der Seite gesehen darstellt, während Fig. 151 B den Grundriß davon zeigt.

Als benetzende Flüssigkeit nimmt man zu diesen Versuchen lieber Weingeist, als Wasser, weil es kaum zu vermeiden ist, daß etwas Staub in die Röhrchen gelangt und weil dieser die Benetzung des Glases durch den Weingeist viel weniger stört, als die durch das Wasser. Glasröhren bis zu zwei Millimeter Weite herab sind käuflich und in solchen steigt Weingeist schon einige Millimeter hoch auf; engere Glasröhren verschafft man sich leicht durch Ausziehen über der Lampe. Ein 8 bis 10^{cm} langes Glasrohr von 4 bis 6^{mm} Weite erwärmt man in der Mitte unter fleißigem Drehen so lange, bis es ganz weich ist, geht dann sofort damit aus der Flamme und zieht es nun erst rasch in die Länge; auf diese Weise erhält man ein enges, 20 bis 60^{cm} langes Röhrchen, von dem man mit der dreikantigen Feile passende Stücken abnehmen kann. An einem von den beiden weit gebliebenen Enden läßt man ein 6 bis 8^{cm} langes Stück des engen Rohres und biegt dieses in die Fig. 150 dargestellte Form; das feine, dünnwandige Röhrchen darf nicht in, sondern nur über der Flamme gebogen werden, weil es sich sonst einknickt. Das Einfüllen des Quecksilbers geschieht durch das weitere Ende mit Hülfe eines kleinen Papiertrichters.

Fig. 150. Fig. 151.



nat. Gr. nat. Gr.

Die Platten zu dem letzten Versuch läßt man sich aus recht ebenem Glas 4 bis

6^{cm} lang und 3 bis 4^{cm} breit schneiden; man klemmt sie zwischen zwei passend eingeschnittene Korkstückchen, deren Form aus Fig. 151 B zu ersehen ist und stellt sie dann in ein ganz flaches Schälchen oder auf ein ebenes Glasstück, das auch zu den Versuchen mit den Röhrchen dienen kann: man braucht dann nur wenige Tropfen Weingeist, die man mit einer Pipette oder mit einem Stäbchen auf die Glasplatte bringt.

Nicht blos in enge Röhren, sondern überhaupt in feine Höhlungen treibt die Capillarität benetzende Flüssigkeiten hinein; die Aufsaugung durch einen Schwamm, durch Fließpapier und dergl. ist lediglich Folge der Capillarität. Oben haben wir gesehen, daß leichte Körper deshalb in Flüssigkeiten schwimmen, weil sie von unten her stärker gedrückt werden, als von oben; wenn es möglich ist, einen Körper so auf den Boden eines Gefäßes zu legen, daß ihn die Flüssigkeit von unten nicht berührt, so kann er nicht von der Flüssigkeit aufwärts getrieben werden, folglich auch nicht schwimmen. Legt man einen flachen Kork, der unten recht eben geschnitten oder gefeilt ist, auf den ebenen Boden eines kleinen Glases oder Schälchens und übergießt ihn mit Quecksilber, während man ihn durch einen leisen Druck mit dem Finger vor einer seitlichen Verschiebung schützt, so bleibt er, auch nachdem man den Finger entfernt hat, auf dem Boden liegen, ja er wird durch das darüberstehende Quecksilber so auf den Boden aufgedrückt, daß es einer gewissen Kraft bedarf, um ihn loszureißen. Mit Wasser gelingt ein ähnlicher Versuch nicht ohne weiteres, weil die Capillarität das Wasser zwischen den Boden und den darauf liegenden Körper auch dann noch hineintreibt, wenn beide sehr genau aufeinander passen; will man den Versuch mit Wasser machen, so muß man dafür sorgen, daß dasselbe weder den Gefäßboden, noch den darauf liegenden Körper oder wenigstens dessen untere Fläche benetzt.

In einem Blechlöffel schmilzt man ein kleines Stückchen Stearin (richtiger Stearinsäure genannt, ein Stückchen einer Stearinkerze) und läßt etwas davon auf eine wagrecht liegende Adhäsionsplatte fließen, so daß es einen Kreis von höchstens 15^{mm} Durchmesser bildet und legt dann sofort, ehe die flüssige Masse erstarrt, ein rundgeschnittenes Stück Kork von etwa 10^{mm} Durchmesser und 5 bis 10^{mm} Höhe darauf. Nach dem Erkalten löst man durch vorsichtiges Nachderseiteschieben den Kork sammt dem daran haftenden Stearin von der Glasplatte ab. Das Stearin dient, um dem Körper eine ebene, von Wasser nicht benetzt werdende, untere Fläche zu geben; da aber Stearin ganz wenig schwerer ist als Wasser, so muß es noch mit dem Kork verbunden werden, damit das Ganze schwimmt. Die Adhäsionsplatte, von der man für diesen Zweck den angekitteten Siegellackgriff entfernt, legt man auf den Boden eines geräumigen Trinkglases, um eine ebene Bodenfläche herzustellen, bestäubt sie mit Bärlappsamen, legt dann den Stearinkorkschwimmer mit seiner ebenen Fläche auf die bestäubte Glasplatte und füllt das Glas durch vorsichtiges Eingießen mit Wasser, während man durch einen ganz leisen Druck mit einem Stäbchen den Schwimmer festhält. Nach dem Füllen entfernt man das Stäbchen, der Schwimmer bleibt, von oben allein gedrückt, am Boden, sobald man ihn aber etwas verschiebt, daß das Wasser unter ihn kommen kann, steigt er auf.

Viele starre Stoffe lösen sich bekanntlich in Flüssigkeiten auf, d. h. sie werden in Berührung damit flüssig, indem sie sich mit ihnen vermischen. Zucker, Kochsalz, Gummi arabicum lösen sich in Wasser, Harze in Weingeist u. s. w. Der Grund dieser Löslichkeit ist darin zu suchen, daß die Anziehung (Adhäsion) zwischen den Theilchen einer Flüssigkeit und eines starren Körpers, die bei Glas und Quecksilber kleiner ist, als die Cohäsion des Quecksilbers, bei Glas und Wasser aber größer als die Cohäsion des Wassers, in manchen Fällen sogar größer ist, als die Cohäsion des starren

Körpers, daß also, mit anderen Worten, die Flüssigkeitstheilchen die Theilchen des starren Körpers stärker anziehen, als diese sich untereinander; infolge dessen lösen sich diese letzteren voneinander los und vertheilen sich unter den Flüssigkeitstheilchen. Verschiedene Stoffe lösen sich in sehr verschiedener Menge in Flüssigkeiten auf; Zucker löst sich in Wasser in außerordentlich großer Menge auf, indem er damit zuletzt eine ganz dicke, syrupartige Flüssigkeit bildet; vom Kochsalz löst sich ohngefähr 1 Theil in 3 Theilen Wasser; auch die anderen, oben angeführten Stoffe sind leicht löslich, während andere Körper sich nur in ganz geringer Menge auflösen lassen. Von Gyps löst sich nur ein Theil in etwa 400 Theilen Wasser. (Wasser, mit ein wenig Gypsmehl geschüttelt, nimmt durch den sich auflösenden Gyps einen unangenehmen Geschmack an, vieles natürliche Brunnenwasser enthält kleine Mengen von Gyps.)

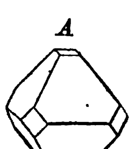
Die meisten Stoffe lösen sich in der Wärme leichter und in größerer Menge auf, als in der Kälte, doch ist dies nicht ausnahmlos der Fall, Gyps und Kochsalz sind in der Kälte und in der Wärme nahezu gleich löslich.

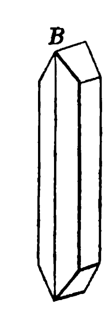
Viele Stoffe scheiden sich in Krystallen, d. i. in regelmäßigen, von ebenen Flächen begrenzten, meist durchsichtigen Gebilden aus ihren Lösungen ab, wenn diese allmählig verdunsten oder wenn eine in der Wärme gesättigte Lösung sich abkühlt. Der gewöhnliche Salpeter (Kalisalpeter, salpetersaures Kali) löst sich in weniger, als dem Vierfachen seines Gewichtes kalten und in weniger als der Hälfte seines Gewichtes heißem Wasser.

100 bis 200^{gr} Kalisalpeter übergießt man mit gleich viel Wasser, erwärmt das Ganze, bis alles gelöst ist und läßt es dann langsam abkühlen, ohne die Flüssigkeit zu rühren oder zu erschüttern; es scheidet sich dabei fast drei Viertel des Salpeters in schönen, lang säulenförmigen Krystallen ab.

Das Erwärmen der Lösung kann man am besten in einer etwas tiefen Porcellanschale, wie sie zu chemischen Versuchen vielfach gebraucht werden, vornehmen; in Ermangelung einer solchen bedient man sich einer gläsernen Einmachbüchse, die aber nicht unmittelbar erwärmt werden darf, wenn sie nicht springen soll; man stellt sie deshalb in einen Topf, der 5 bis 6^{cm} weiter ist, füllt diesen 3 bis 4^{cm} hoch mit Wasser und erwärmt nun das Ganze im Ofen bis zur Lösung des Salpeters. Damit die Abkühlung nicht zu lange dauert, nimmt man nach geschehener Auflösung die Glasbüchse aus dem Topfe und stellt sie an einen ruhigen Ort, etwa auf ein Fensterbrett; ein oder zwei Stunden später gießt man den flüssigen Theil des Inhaltes aus; die Büchse ist dann innen mit schönen Krystallen ausgekleidet.

Fig. 152.





Ein anderes Salz, welches leicht aus der heiß gesättigten Lösung krystallisirt, ist der Alaun; man kann dieselben Mengeverhältnisse anwenden, wie beim Salpeter, um Alaunkrystalle zu erhalten; dieselben haben aber eine andere Form, als die Salpeterkrystalle. Einen einzelnen, vollkommen ausgebildeten Alaunkrystall zeigt Fig. 152 A, einen Salpeterkrystall Fig. 152 B, solche rundum vollkommen ausgebildete Krystalle sind aber nur schwierig zu erhalten.

Diejenigen Flüssigkeiten, welche nicht, wie Wasser und Oel, sich wieder trennen, wenn man sie untereinandergeschüttelt hat, sondern welche ein bleibendes Gemisch bilden, wie Wasser und Weingeist, Wasser und Essig

oder Wasser und Salzlösungen, vermischen sich schon, wenn man sie nur in Berührung miteinander bringt ohne sie durcheinander zu rühren. Die freiwillig eintretende Vermischung mischbarer Flüssigkeiten, welche man Diffussion nennt, geht sehr verschieden schnell vor sich, je nachdem sie durch Unterschiede im spec. Gew. der Flüssigkeiten begünstigt oder gehemmt wird. Zwei Probirgläser, deren jedes etwa 30^{cc} Wasser faßt, füllt man mit Wasser und bringt in jedes etwa 3^{gr} Kupfervitriol (schwefelsaures Kupferoxyd) in festen Stückchen. Dieses giftige, abscheulich schmeckende Salz bildet schöne dunkelblaue Krystalle und löst sich in Wasser zu einer blauen Flüssigkeit, welche schwerer ist als Wasser und zwar um so schwerer, je gesättigter sie ist. In das eine Probirglas wirft man die festen Stücken ohne weiteres hinein, in dem zweiten aber hängt man sie auf, indem man sie in ein Beutelchen aus ganz dünnem Gewebe (Gaze, Mull oder dergl.) bindet und dieses mittelst eines Fadens so an einem quer über das Glas gelegten Holzspahn befestigt, daß es nur eben in das Wasser eintaucht. In Berührung mit dem Wasser fängt der Kupfervitriol sofort an sich aufzulösen; von den aufgehängten Krystallen sinkt die schwerere Lösung nieder, reines Wasser kommt mit den Krystallen zusammen, löst ebenfalls davon auf, wird dadurch schwerer und sinkt nieder, um anderem Wasser Platz zu machen und so fort. Die größere Schwere der Lösung bewirkt eine Strömung der Flüssigkeit, welche so lange andauert, bis aller Kupfervitriol gelöst ist; nach längstens einer Stunde enthält das Probirglas eine gleichmäßig hellblaue Flüssigkeit und das Beutelchen ist seines festen Inhaltes vollständig beraubt. In dem anderen Gläschen, in welchem die Krystalle am Boden liegen, bildet sich auch Lösung, dieselbe bleibt aber ihres größeren spec. Gewichtes wegen am Boden liegen und bedeckt den ungelöst gebliebenen Theil des Kupfervitriols. Sie sättigt sich selbst damit und wird ziemlich dunkelblau, sie vermischt sich aber nur sehr langsam mit dem darüber stehenden Wasser, es kann Tage, ja Wochen dauern, ehe aller Kupfervitriol gelöst ist und Monate vergehen, ehe das Glas von oben bis unten gleichmäßig blau aussieht, d. h. ehe sich die Lösung des Kupfervitriols ganz gleichförmig im Wasser vertheilt hat.

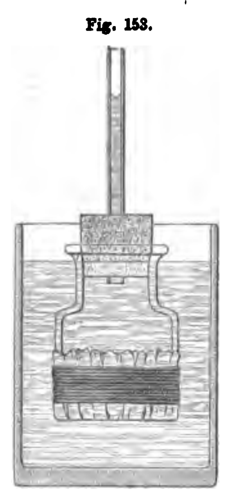
Scheidewände, welche von Flüssigkeiten durchdrungen werden, z. B. solche von Gyps, von schwach gebranntem, unglasirten Thon, Pergamentpapier, Thierblase und dergl. bieten auffälliger Weise der Vermischung von Flüssigkeiten ein geringeres Hinderniß, als die Verschiedenheit des spec. Gewichtes. Sind zwei Flüssigkeiten durch eine solche Wand getrennt, so zeigt sich meist die eigenthümliche Erscheinung, daß diese beiden Flüssigkeiten mit verschiedener Geschwindigkeit durch diese Wand hindurchdringen, so daß also die Flüssigkeitsmenge auf der einen Seite der Wand zunimmt, während sie sich auf der anderen Seite vermindert. Gewöhnlich wandert die schwerere Flüssigkeit langsamer durch, als die leichtere, doch ist dies keine allgemein gültige Regel. Diesen Vorgang bezeichnet man mit dem Namen Endosmose.

Ein kleines Glas (ein sogenanntes Opodeldocglas) von etwa 30^{cc} Inhalt sprengt man, nachdem man mit der Feile einen Einschnitt gemacht hat, etwa 1^{cm},5 über dem Boden ab, schleift den unteren Rand auf einem Glasstück oder einer eisernen Ofenplatte (sogenannten Falzplatte) mit Smirgel oder auf einem Schleifsteine eben und stumpft die äußere Kante des Randes ab, indem man das Glas schief auf die Platte oder den Stein hält und es langsam wälzend umdreht; dieses Abstumpfen geht auf dem Schleifstein besser und schneller, als mit Smirgel. Ueber den abgeschliffenen Rand zieht man recht straff ein Stück einer in warmem (nicht heißen) Wasser aufge-

weichten Kalbs- oder Schweinsblase, bindet es durch einen glatt nebeneinander 6 bis 8 mal straff um das Glas gewundenen, dünnen Bindfaden fest und schneidet die vorstehenden Zipfel der Blase mit einer scharfen Scheere weg. In den Hals des Glases paßt man recht streng einen weichen, gleichmäßigen Kork, der durchbohrt und mit einer etwa 3^{mm} weiten, 10 bis 20^{cm} langen, beiderseits offenen Glasröhre versehen wird, siehe Fig. 153.

Das mit Thierblase verschlossene Gefäß Fig. 153 füllt man, nach dem Abnehmen des Korkes, mit einer Zuckerlösung, die man durch Auflösen von etwa 20^{gr} Zucker in 20^{cc} Wasser herstellt, setzt den Kork wieder auf und befestigt das im Kork steckende Glasrohr so in einen Retortenhalter, daß das Gefäß mit der Zuckerlösung so weit, wie es die Figur zeigt, in ein größeres Gefäß mit Wasser taucht. Beim Einsetzen des Korkes in das ganz volle Glas steigt die Flüssigkeit in dem Rohre in die Höhe, es läuft wol auch ein kleiner Theil davon über, bald aber wird die Blase durch den Druck der Flüssigkeit etwas ausgebaucht, das Volumen des Gefäßes also vergrößert und die Flüssigkeit sinkt in dem Rohre zurück. Diese Ausdehnung der Blase und das damit verbundene Sinken der Flüssigkeit erreichen aber bald ihre Grenze und nun beginnt die Flüssigkeit im Rohre wieder langsam zu steigen, weil das Wasser des äußeren Gefäßes schneller durch die Blase zur Zuckerlösung wandert, als die Zuckerlösung zum Wasser. Im Laufe einiger Stunden steigt die Flüssigkeit um mehrere Centimeter, nimmt man ein engeres Gasrohr, so geht das Steigen natürlich noch rascher.

Fig. 153.



1/4 nat. Gr.

Sehr starke Endosmose zeigt sich auch zwischen Wasser und Eiweiß und das Häutchen, welches, unter der harten Schale liegend, den flüssigen Inhalt eines Eies umschließt, eignet sich sehr gut, diese Endosmose zu zeigen. In einem geräumigen Glase, welches 800^{cc} bis 1 Liter faßt, vermischt man 40^{cc} rohe, starke (concentrirte) Salzsäure mit 200^{cc} Wasser und legt ein (womöglich dünnschaliges) Hühnerei hinein. Die Salzsäure löst die harte Schale unter starkem Schäumen auf. Wenn man die Flüssigkeit vorsichtig mit einem Holzspahn umrührt, ist nach etwa einer halben Stunde die harte Schale entfernt, man gießt dann die ganze Flüssigkeit mit dem Schaum ab, spült das durchscheinend und ganz weich gewordene Ei und das Gefäß reichlich mit reinem Wasser ab und läßt schließlich das Ei in Wasser liegen, das man von Zeit zu Zeit (alle Tage 2 oder 3 mal) erneuert. Das erste Wasser, in dem das Ei einige Zeit gelegen hat, schmeckt deutlich sauer, die in das Ei eingedrungene Säure wandert aus demselben wieder heraus, aber fast kein Eiweiß; dagegen wandert reichlich Wasser in das Ei hinein und treibt dieses bedeutend auf; nach 2 Tagen erlangt es ein Gewicht von etwa 80^{gr}, während es ursprünglich kaum 50^{gr} wiegt.

C. Aërostatik und Aërodynamik,

d. i. Lehre vom Gleichgewicht und von der Bewegung gasiger Körper.

24. Schwere der Luft, Gewichtsverlust in Luft, Luftballon. Schon bei der Besprechung der Raumerfüllung (§. 2) haben wir gelernt, daß auch die atmosphärische Luft, welche uns rings umgiebt, ein Körper ist. Wie alle Körper besitzt auch die Luft Gewicht, aber nur ein sehr geringes; das spec. Gew. der atmosphärischen Luft ist unter gewöhnlichen Umständen etwa $^1/_{800}$; andere Gase sind theils etwas schwerer, theils noch leichter.

Wägt man eine Blase, etwa eine Schweinsblase einmal im zusammengedrückten Zustande, also leer und ein zweites Mal, nachdem man sie aufgeblasen hat, so findet man sie beide Male gleich schwer, man darf aber daraus nicht schließen, daß die Luft kein Gewicht besitze. Eine ganz ähnliche Erscheinung würde man haben, wenn man unter Wasser einmal eine zusammengedrückte Blase und dann dieselbe Blase mit Wasser gefüllt wöge. Füllt man etwa 1000^{gr} Wasser in die Blase, so nimmt allerdings ihr absolutes Gewicht um 1000^{gr} zu, ihr Volumen vergrößert sich dadurch aber um 1000^{cc} und sie verdrängt also auch 1000^{cc} Wasser mehr als vorher und hat deshalb einen 1000^{gr} größeren Gewichtsverlust, so daß sie, unter Wasser, gefüllt ebenso schwer erscheint, als zuvor. Druckfortpflanzung und Bodendruck sind bei den Gasen ganz ähnlich, wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten; es muß also auch das Archimedische Princip für die Gase gelten, da dieses nur die Folge des Flüssigkeitsdruckes ist; es wird somit ein in Luft befindlicher Körper um soviel zu leicht erscheinen, als die von ihm verdrängte Luft wiegt. Füllt man die Blase mit Luft, so vergrößert man ihr absolutes Gewicht, zugleich aber auch ihr Volumen; die Blase verdrängt dann mehr Luft, als zuvor und ihr Gewichtsverlust wird gerade soviel größer, als ihr wirkliches Gewicht, so daß das scheinbare Gewicht dasselbe bleibt.

Will man sich durch den Versuch von der Schwere der Luft überzeugen, so muß man ein Gefäß einmal im leeren und einmal im luftgefüllten Zustande wägen, welches beim Füllen oder Entleeren sein Volumen nicht ändert, also ein Gefäß mit starren, unbeweglichen Wänden, am einfachsten ein Glasgefäß. Ein solches Gefäß kann man auf dieselbe Weise luftleer machen, wie das zu dem Versuch über die Expansion der Luft benutzte (§. 4). Eine dünnwandige Kochflasche von wenigstens 1 Liter Inhalt, also eine solche, deren kugeliger Theil wenigstens 13^{cm} Durchmesser hat, versieht man mit gut schließendem Kork, Glasrohr, Kautschukschlauch und Quetschhahn und macht sie in der früher angegebenen Weise durch Auskochen luftleer. Alsdann bindet man um den Hals der Flasche einen Faden, mittelst dessen man sie an eine Seite einer Wage aufhängt, nachdem man zuvor die eine Schale ganz entfernt oder durch die kurze Schale ersetzt hat, die bei den hydrostatischen Versuchen gebraucht wird. Durch in die andere Schale gelegte Gewichte bringt man die Wage genau in's Gleichgewicht und öffnet dann den Quetschhahn; man hört die Luft mit lebhaftem Geräusch eintreten und die Wage neigt sich nach der Seite der Glaskugel; man muß 1^{gr} oder noch mehr auf die andere Seite der Wage bringen, um das Gleichgewicht wieder herzustellen; die Luft, welche die Kochflache faßt, wiegt also 1^{gr} oder mehr.

Im gewöhnlichen Leben nimmt man auf den Gewichtsverlust, welchen jeder Körper in der Luft erleidet, keine Rücksicht, weil er gegen das Gewicht der Körper immer sehr klein ist. Wenn aber ein solcher Gewichtsverlust überhaupt stattfindet, so muß es auch möglich sein, Körper in der Luft schwimmend zu erhalten, wenn es nur gelingt, solche Körper herzustellen, die leichter sind als Luft. Nun sind in der That manche Gase, z. B. das gewöhnliche Leuchtgas und eine Gasart, welche Wasserstoff heißt, leichter, als atmosphärische Luft; ersteres ist etwa halb so schwer, letzterer, der leichteste von allen bekannten Körpern, nicht ganz ein Vierzehntel so schwer. Beide Gase schwimmen deshalb in Luft, d. h. sie steigen darin auf. Hat man Leuchtgas zu seiner Verfügung, so läßt sich das leicht nachweisen. Ueber einen gewöhnlichen Gasbrenner hält man ein etwas starkwandiges, großes Probirglas oder einen am oberen Ende durch einen gut passenden, nöthigenfalls mit Siegellack verkitteten Kork verschlossenen Lampencylinder so, daß die Mündung des Brenners sich innerhalb des Glases befindet, öffnet dann den Gashahn und läßt das Gas so lange ausströmen, als man braucht um langsam bis 20 zu zählen (d. h. etwa 20 Secunden lang). Dann dreht man den Gashahn zu, hält das Glasgefäß nochmals etwa 20 Secunden lang in unveränderter Lage, also mit der Oeffnung nach unten und nähert ihm dann ein brennendes Streichholz. Das aus dem Brenner strömende Gas steigt wegen seiner Leichtigkeit in dem übergehaltenen Gefäße auf, indem es die schwerere Luft nach unten hinausdrängt und hält sich darin noch einige Zeit, nachdem der Zufluß des Gases aufgehört hat; beim Hinzubringen des brennenden Hölzchens entzündet es sich und macht dadurch seine Anwesenheit bemerklich. Wiederholt man nun den nämlichen Versuch mit der Abänderung, daß man das mit Gas gefüllte Gefäß sofort nach dem Absperren des Gashahnes umkehrt, so daß seine Mündung nach oben kommt, so findet, wenn man nach etwa 20 Secunden das brennende Hölzchen hinzubringt, keine Entzündung mehr statt, weil das leichte Gas aus der Oeffnung des Gefäßes nach oben entwichen und dafür Luft in das Gefäß eingetreten ist.

Stellt man den Versuch genau in der beschriebenen Weise an, so ist er ganz gefahrlos; man hüte sich aber ja, ihn etwa mit einer Flasche machen zu wollen. Durch den Flaschenhals können Luft und Gas nicht so schnell aus und einströmen, daß nach 20 Secunden nur Luft oder nur Gas in der Flasche ist, man erhält ein Gemenge von beiden und dieses brennt nicht ruhig ab, sondern verpufft mit größerer oder geringerer Heftigkeit, je nachdem die Mischung in einem oder dem anderen Mengenverhältnisse erfolgt ist. Wenn sich zufällig ein für die Verpuffung günstiges Gemenge gebildet hat, kann diese so heftig werden, daß beim Anzünden die Flasche mit lautem Knalle in Stücke zersprengt wird, welche umherfliegen und Verwundungen oder anderen Schaden veranlassen können. Ein überall gleich weites oder höchstens am offenen Ende weiteres Glas, wie es ein Probirglas oder ein Moderateurlampencylinder ist, wird selbst dann nicht zersprengt, wenn sich durch ungenügendes Ein- oder Ausströmen von Gas ein heftig verpuffendes Gemenge gebildet haben sollte.

Seifenblasen, welche mit Leuchtgas oder mit Wasserstoffgas gefüllt sind, steigen sehr schnell in die Höhe, weil die dünne Flüssigkeitshülle sammt ihrem Inhalte noch leichter ist, als die atmosphärische Luft, welche dadurch verdrängt wird. Ein Luftballon ist nichts anderes, als eine geräumige, mit einem leichten Gase gefüllte Hülle, welche leichter ist, als ein gleich großes Luftvolumen. Ein kugelförmiger Luftballon von 12^m oder 120 Decimeter Durchmesser, hat nach der früher gegebenen Regel (§. 1, Anm. 3)

ein Volumen von $\frac{120 \cdot 120 \cdot 120 \cdot 3{,}1416}{6} = 904780{,}8$ Liter. Eine gleich große Wasserkugel würde ebenso viele Kilogramm schwer sein, weil 1 Liter Wasser 1^{kgr} wiegt; da aber die Luft nur $1/_{800}$ so schwer ist, als das Wasser, so wiegt ein Luftvolumen von der Größe des Ballons $1/_{800} \cdot 904780{,}8$, d. i. nahezu 1131^{kgr}. Ist der Ballon mit Leuchtgas gefüllt, welches halb so schwer ist als Luft, so wiegt sein Inhalt $\frac{1131}{2} = 565^{kgr}{,}5$; er wird also noch steigen, wenn die Hülle mit allem, was daran hängt, leichter ist, als $565^{kgr}{,}5$. Wiegt die Hülle 300^{kgr}, so ist das Gewicht des ganzen Ballons $565{,}5 + 300 = 865{,}5$, also $1131 - 865{,}5 = 265^{kgr}{,}5$ kleiner, als das des gleichen Luftvolumens; der Ballon steigt dann mit einer Kraft von $265^{kgr}{,}5$ in die Höhe, so daß er ganz bequem noch ein Netzwerk mit einer leichten Gondel und ein oder zwei Menschen zu tragen vermag. Große Luftballons werden in der Regel aus dichtem, durch einen Firnißüberzug luftdicht gemachten Gewebe hergestellt; für kleine Luftballons darf man nur ganz leichte Häutchen anwenden, wenn sie noch steigen sollen. Ein Ballon von 1 Liter Inhalt darf nicht ganz $0^{gr}{,}625$ schwer sein, wenn er mit Leuchtgas gefüllt noch steigen soll. Ein Liter Wasser wiegt 1000^{gr}, ein Liter Luft also $1000 \cdot 1/_{800} = 1^{gr}{,}25$ und ein gleiches Volumen Leuchtgas $0^{gr}{,}625$; soll der gefüllte Ballon leichter sein, als die von ihm verdrängte Luft, so muß die Hülle weniger als $1{,}25 - 0{,}625$, also weniger als $0^{gr}{,}625$ wiegen. Ein ebenso großer, mit Wasserstoffgas gefüllter Ballon wird noch ganz gut steigen, wenn die Hülle 1^{gr} wiegt; da das Wasserstoffgas kaum $1/_{14}$ so schwer ist, als die Luft, so wiegt das Liter Wasserstoffgas kaum $1{,}25 \cdot 1/_{14} = 0^{gr}{,}089$, der gefüllte Ballon also $1^{gr}{,}089$, d. i. $1{,}25 - 1{,}089 = 0^{gr}{,}161$ weniger, als die von ihm verdrängte Luft.

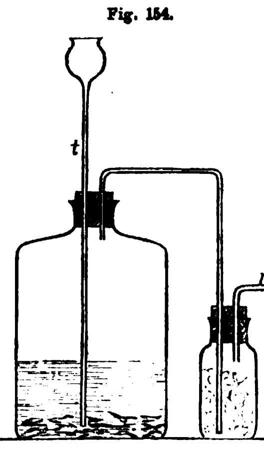
Mit Leuchtgas gefüllte Seifenblasen lassen sich, wenn man einmal Leuchtgas hat, sehr leicht herstellen. Das eine Ende eines Kautschukschlauches schiebt man über den Schlauchhahn oder in Ermangelung eines solchen über einen Brenner (wie Fig. 20), in das andere Ende steckt man das Rohr einer Thonpfeife oder eines kleinen Glastrichters, dessen Mündung nicht über 3^{cm} weit ist. Man taucht nun die Mündung des Trichters oder der Pfeife auf die Oberfläche einer in einem Schälchen befindlichen Seifenwasserschicht, hebt sie wieder ab und öffnet dann den Gashahn. Beim Eintauchen hat sich in der Mündung ein Häutchen gebildet, dieses wird durch das Gas zu einer Blase ausgedehnt und diese reißt, wenn man die Mündung nach oben kehrt, wegen ihrer Leichtigkeit von selbst ab, wenn sie einen Durchmesser von 8 bis 15^{cm} erlangt hat und steigt dann rasch bis an die Decke des Zimmers.

Hat man kein Leuchtgas, so muß man sich Wasserstoffgas herstellen. Das Wasserstoffgas ist ein Bestandtheil des Wassers und wird erhalten, wenn man Wasser mit Zink und Schwefelsäure zusammenbringt. Das Zink wendet man in Form von Blechstreifen an, die man aus Abfällen schneidet, welche man bei jedem Klempner erhält; die Schwefelsäure verdünnt man mit Wasser, ehe man sie auf das Zink gießt. Beim Zusammenbringen der beiden Flüssigkeiten tritt eine bedeutende Erwärmung ein, die, wenn man unvorsichtig zu Werke geht, ein Umherspritzen des Gemisches oder ein Springen des Mischgefäßes bewirken kann. Am besten verfährt man so, daß man ein geräumiges, etwa 1 Liter haltendes Gefäß, ein Einmachglas, in ein Becken (ein Waschbecken von Steinzeug oder Porcellan, nicht von Blech) stellt und letzteres zum Theil mit Wasser füllt; auf diese Weise kühlt man das innere Gefäß etwas ab und sichert für den Fall, daß dieses ja zerspringen sollte, den Inhalt vor dem Verschütten. In das innere Gefäß gießt man 500^{cc} Wasser und setzt dann 50^{cc} englische Schwefelsäure zu, die man in einem dünnen Strahle einfließen läßt, während man mit einem Holzspahn oder einem Glasstab fortwährend umrührt. Da gewöhnliche

Glasflaschen manchmal schon bei ganz mäßiger Wärme springen, wartet man mit dem Einfüllen der fertigen, verdünnten Säure in eine Flasche so lange, bis sie ziemlich kalt geworden ist.

Wie die Salzsäure, macht auch die verdünnte Schwefelsäure auf farbigen Stoffen Flecken, man hüte also seine Kleider und benetze etwa entstandene Flecken sofort mit Auflösung von kohlensaurem Ammoniak. Die unverdünnte (concentrirte) Schwefelsäure wirkt sehr stark ätzend, sie zerfrißt Gewebe und ähnliche Stoffe sehr schnell, indem sie dieselben zugleich verkohlt. Fällt ein Tropfen der concentrirten Säure irgend wohin, so wische man ihn zunächst mit etwas Fließpapier oder einem alten Läppchen ab, was man auf alle Fälle bereit hält, wäscht dann die Stelle, wo sich der Tropfen befand, mit etwas Wasser und befeuchtet sie noch mit etwas kohlensaurem Ammoniak, indessen wird man das Entstehen eines Fleckens dadurch nie ganz verhindern.

Fig. 154.



1/5 nat. Gr.

Um das beim Uebergießen des Zinkes mit verdünnter Säure unter Aufbrausen entwickelte Gas auffangen zu können, braucht man eine besondere Vorrichtung, einen sogenannten Gasentwicklungapparat. Die einfachste Art eines solchen Apparates zeigt Fig. 154. Eine weithalsige Flasche ist mit einem doppelt durchbohrten Kork versehen, durch eine Bohrung ist eine bis fast auf den Boden des Gefäßes reichende Trichterröhre t geschoben, durch die andere eine zweimal rechtwinklig gebogene Glasröhre, welche in ein zweites, kleines Glas (Opodeldocglas) führt und zwar fast bis zum Boden. Dieses kleine Glas ist ebenfalls mit einem doppelt durchbohrten Kork versehen; die zweite Bohrung dieses Korkes enthält ein kurzes Glasrohr r, welches zweckmäßig nahe über den Kork rechtwinklig umgebogen ist. Beide Korke müssen gut ausgewählt, weich geklopft und sorgfältig gebohrt sein, damit sie dicht schließen; man darf sie nicht verkitten, weil sie bei wiederholtem Gebrauche des Apparates abgenommen werden müssen. In die größere Flasche bringt man etwa 50gr Zinkblech; das kleine Glas dient, um das entwickelte Gas etwas zu reinigen.

Fig. 155.

2/5 nat. Gr.

Für unsere Zwecke genügt es, dieses Gläschen lose mit Baumwolle (zerzupfter Watte) zu füllen; das Gas reißt nämlich beim Entweichen aus der Säure feine Tröpfchen derselben mit fort, welche von der Baumwolle zurückgehalten werden. An das Rohr r setzt man den Kautschukschlauch, welcher das Gas aufnehmen soll, durch das Trichterrohr t gießt man die verdünnte Säure ein, nachdem der Apparat mit Zink versehen und zusammengesetzt worden ist.

Die Gasentwickelung tritt anfangs nur schwach ein, bald aber wird sie lebhafter und die schäumende Flüssigkeit steigt in der Flasche etwas in die Höhe; man darf deshalb nicht zu viel Flüssigkeit auf einmal in den Apparat bringen, weil sonst ein Uebersteigen nach dem kleinen Glase eintreten kann. Wird die Gasentwickelung zu schwach, so gießt man allmählig kleine Mengen Säure durch das Trichterrohr nach. Ehe man Seifenblasen mit dem Gase füllt, muß man eine Zeit lang warten, damit das entwickelte Gas erst die im Apparate ursprünglich befindliche Luft herausdrängt. Die an dem Kautschukschlauch befindliche Pfeife oder den Trichter darf man nur ganz kurz auf das Seifenwasser tauchen, wartet man einige Zeit, ehe man damit wieder in die Höhe geht, so bildet sich eine Blase, welche auf dem Seifenwasser sitzen bleibt. Man darf bei diesem Apparate das Gas nicht (durch Zusammendrücken des Kautschukschlauches mit den Fingern oder mit einem Quetschhahn) absperren; wenn dasselbe am Entweichen gehindert ist, so drängt es die Flüssigkeit aus der Entwickelungsflasche durch die Trichterröhre heraus. In Ermangelung einer fertigen Trichterröhre kann man aus

einer Glasröhre, einem kleinen Glastrichter und einem Stückchen Kautschukschlauch eine solche zusammenstellen, wie Fig. 155 im Durchschnitt zeigt.

Ein vollkommnerer Gasentwickelungsapparat, welcher für viele Zwecke sehr bequem ist und besonders den Vorzug besitzt, daß man den Ausfluß des Gases durch einen Hahn reguliren oder unterbrechen kann, ist in Fig. 156 abgebildet. Zwei gleichgroße Flaschen a und b sind durch einen Kautschukschlauch von 40 bis 60^{cm} Länge an ihrem unteren Theile verbunden. Die Flaschen sind zu diesem Zwecke mit einem seitlichen Röhrenansatz (Tubulus) versehen, welcher entweder so eng ist, daß man den Kautschukschlauch darüber schieben kann, oder so weit, daß ein durchbohrter Kautschukstöpsel hineingeht, welcher eine Glasröhre trägt, auf der der Schlauch sitzt. Die Flasche a ist durch einen kleinen, lose eingesetzten Trichter nur in soweit verschlossen, daß nichts herausspritzen kann; die Flasche b aber mit einem dicht schließenden Kautschukstöpsel versehen, durch den ein kurzes Glasrohr hindurchgeht, welches durch einen kurzen Schlauch mit einem anderen Glasröhrchen in Verbindung steht, das durch einen Kautschukstöpsel in ein mit Baumwolle gefülltes Trockenrohr geht. Dieses Rohr t ist am anderen Ende durch einen Hahn h verschlossen, der zum Anstecken eines Schlauches eingerichtet ist und ist an dem Halse der Flasche b mit Draht und Kork befestigt. Das Trockenrohr t ist an einer Seite mit einer Kugel versehen, welche nicht mit Baumwolle gefüllt wird, in dieser sammelt sich der größere Theil der Feuchtigkeit an, so daß man die Baumwolle nicht zu oft zu wechseln braucht. In die Flasche b kommt zu unterst eine Schicht von kleinen Kieselsteinen, welche 1 bis 2^{cm} über die seitliche Ansatzröhre heraufgeht; auf diese Schicht erst bringt man das Zink; die Flasche a wird zu drei Viertheilen mit verdünnter Säure gefüllt und dann auf eine Unterlage von Brettchen gestellt.

Fig. 156.



a. P. 1/8 nat. Gr.

Solche viereckige Brettchen braucht man zu vielen Versuchen; man läßt sich deren eine Anzahl von verschiedener Größe, 10 bis 16^{cm} ins Geviert und 1 bis 4^{cm} dick beim Tischler schneiden.

Solange der Hahn h verschlossen ist, kann die Säure aus a nicht nach b fließen wegen der Raumerfüllung der Luft (§. 2); öffnet man den Hahn, so tritt nun die Säure zum Zink und bewirkt eine Wasserstoffentwickelung. Dreht man den Hahn wieder zu, entweder ganz oder wenigstens so weit, daß nicht so viel Gas entweichen kann, als sich entwickelt, so treibt dasselbe die Säure wieder in das höher stehende Gefäß a hinauf. Wenn in a die Flüssigkeit bis zur Höhe des Tubulus gesunken ist, so geht nicht mehr Säure, sondern Gas durch den Schlauch nach a; würde nun das Zink unmittelbar auf dem Boden von b liegen, so bliebe dasselbe in Berührung mit der kleinen Säureschicht, die unterhalb des Tubulus in b liegen bleibt und die Gasentwickelung ginge ununterbrochen fort, das Gas würde unbenutzt durch das Gefäß a entweichen. Die Schicht Kiesel in b verhindert aber die Berührung des Zinks mit der zurückbleibenden Säure und die Gasentwickelung hört auf, wenn b mit Gas gefüllt ist. Allerdings entweichen jedesmal eine Anzahl Gasblasen mit lautem, gurgelnden Geräusche durch a, wenn die Flüssigkeit in b bis zum Tubulus gesunken ist und dieses lärmende, aber ganz gefahrlose Entweichen wiederholt sich noch ein oder ein

paar mal, weil das Zink nach dem Abfließen der Säure noch etwas davon benetzt ist, man verliert aber dadurch nur wenig Gas und nutzt mit einem solchen Apparate Zink und Säure viel sparsamer aus, als mit der Vorrichtung Fig. 154.

Das Zink löst sich bei der Entwickelung des Gases in der Säure auf und bildet damit eine salzartige Verbindung, den sogenannten Zinkvitriol (schwefelsaures Zinkoxyd); wenn die Säure mit Zink gesättigt ist, d. h. nichts mehr davon auflöst, muß sie durch neue ersetzt werden. Läßt man die gebildete Zinkvitriollösung an der Luft verdunsten, so scheidet sich der Zinkvitriol in Krystallen aus.

Kleine Luftballons werden aus ganz dünnen Häutchen, den sogenannten Goldschlägerhäutchen und neuerdings häufig aus Collodium verfertigt. Collodium ist eine Auflösung von Schießbaumwolle in Aether; läßt man diese in dünner Schicht auf einer Glasfläche eintrocknen, so bleibt die Schießbaumwolle in Form eines ganz feinen Häutchens zurück. Schwenkt man gläserne Kolben mit Collodium aus, so daß sie überall davon benetzt werden, so bildet sich beim Vertrocknen ein Häutchen in Form eines kleinen Ballons. Es ist jedoch kaum räthlich, sich solche Ballons selbst anzufertigen; das gewöhnliche, käufliche Collodium ist dazu nicht zu brauchen; nur wenn man ganz besonders sorgfältig dargestelltes Collodium (das ganz frei von Spuren von Wasser sein muß) anwendet, gelingt es, den Ballon aus dem Glaskolben herauszubringen, ohne ihn zu zerreißen; man kauft deshalb einen solchen Ballon besser fertig. Um einen Ballon aus Collodium oder Goldschlägerhaut mit Wasserstoff zu füllen, drückt man ihn vorsichtig zwischen den flachen Händen zusammen, damit etwa darin befindliche Luft entweicht und schiebt dann den Hals desselben über ein an den Schlauch des Gasentwickelungsapparates angesetztes Glasrohr. Durch einen lose umgewickelten, nicht festgebundenen Faden bewirkt man, daß der Hals genügend fest an das Glasrohr anschließt, um den Ballon füllen zu können; sobald dieser durch das einströmende Gas ganz aufgeblasen ist, löst man ihn vom Glasrohr ab, indem man den Faden abwickelt und nöthigenfalls mit den Fingern etwas an dem zusammengedrückten Hals schiebt, der Ballon steigt an die Decke des Zimmers und verweilt da so lange, bis durch Eindringen von Luft und Entweichen von Wasserstoffgas sein Gewicht wieder größer geworden ist, als das der von ihm verdrängten Luft. Den Ballon zuzubinden, um das Entweichen des Wasserstoffs zu verlangsamen und ein längeres Verweilen in der Höhe zu erzielen ist nicht räthlich, weil man dabei leicht den Ballon beschädigt. Collodiumballons steigen auch mit Leuchtgasfüllung, wenn sie nicht ganz klein sind.

Von umherziehenden Händlern werden an größeren Orten häufig fertig gefüllte Luftballons aus rothgefärbtem Kautschuk zum Verkauf ausgeboten; dieselben haben aber den Nachtheil, daß sie sich mit einem gewöhnlichen Wasserstoffentwickelungsapparat nicht wieder füllen lassen, wenn sie ihre Steigkraft verloren haben. Diese Kautschukballons sind nämlich im natürlichen Zustande ganz klein (etwa 3 bis 5^{cm} im Durchmesser) und werden durch kräftiges Hineintreiben von Wasserstoffgas aufgeblasen.

Warme Luft ist, wie wir später genauer zu betrachten haben, leichter als kalte, man kann deshalb auch Luftballons durch Füllen mit heißer Luft zum Steigen bringen; dieselben müssen aber ziemlich groß sein und unten eine weite Oeffnung haben, unter welcher ein Feuer, gewöhnlich Spiritusfeuer, bei ganz großen Ballons Strohfeuer, angebracht wird, um die Luft im Innern zu erwärmen. Solche Ballons, die in der Regel aus dünnem Papier in einer Größe von einem bis mehreren Metern angefertigt werden, kann man nicht im Zimmer steigen lassen und im Freien sind sie immer etwas feuergefährlich.

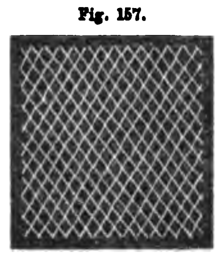
25. Luftdruck, Barometer. Füllt man ein Trinkglas mit ebenem Rande ganz voll Wasser und bedeckt es mit einem Stück steifen Papieres, so läßt es sich mit der Oeffnung nach unten kehren, ohne auszulaufen. Wenn das Papier recht gut ringsum am Rande anliegt, gelingt der Versuch manchmal, indem man ohne weiteres das Glas langsam neigt und schließlich ganz umkehrt; sicherer ist es, mit den flach ausgespreizten Fingern einer Hand oder besser durch einen ebenen Körper, ein Brettchen, einen Teller oder dergl. das Papier festzudrücken, bis man in die verkehrte Lage gekommen ist; dann

entfernt man die Hand oder was man sonst zum Halten des Papiers benutzt hat und dieses bleibt am Glase hängen, aus welchem kein oder nur wenige Tropfen Wasser auslaufen. Der Grund, warum das Wasser bei diesem Versuche, scheinbar der Schwere entgegen, in dem Glase hängen bleibt, ist kein anderer als der Druck der Luft. Wie eine tropfbare Flüssigkeit, so muß auch die atmosphärische Luft infolge ihres Gewichtes auf alle in ihr befindlichen Körper einen Druck ausüben.

Wie klein auch das spec. Gew. der Luft ist, so ist doch ihr Druck ein sehr bedeutender, weil die Schicht der Luft, welche die Erde umgiebt, eine große Höhe hat, mit anderen Worten, weil die Oberfläche der festen Erde den Boden eines sehr tiefen Luftmeeres bildet.

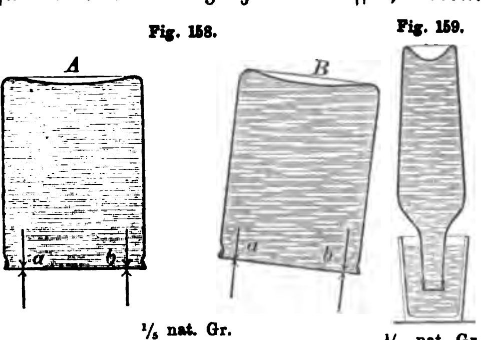
Auch darin stimmen die Druckverhältnisse der Luft mit denen der tropfbaren Körper überein, daß an jeder Stelle der Druck nach allen Richtungen hin gleich groß ist; es wird also nicht nur eine nach oben gekehrte Fläche eines Körpers nach unten, sondern auch eine nach unten gekehrte Fläche nach oben gedrückt, so bei dem umgekehrten Glase die Papierfläche. Das Papier ist bei diesem Versuche nöthig, um zu verhindern, daß an einer Stelle Wasser auslaufen und dafür an einer anderen Stelle Luft eindringen kann, wie es geschehen würde, sobald die Wasserfläche nicht ganz genau wagrecht schwebte und sie frei in solcher genau wagrechten Lage zu erhalten, ist nicht möglich. Davon, daß das Papier nicht einen eigentlichen Verschluß zu bilden braucht, kann man sich leicht überzeugen, indem man ein Einmachglas von 0,5 bis 1 Liter Inhalt überbindet mit einem Stück Baumwollentüll von der in Fig. 157 dargestellten oder von noch etwas größerer Maschenweite. Ein so vorgerichtetes Glas läßt sich ebenso ungehindert vollgießen und ausschütten, wie ein ganz offenes, füllt man es aber ganz voll Wasser, bedeckt es mit einem ebenen Teller und kehrt es um, so daß die Oeffnung möglichst genau wagrecht steht, so kann man den Teller wegnehmen und das Wasser bleibt, vom Luftdruck getragen, im Glase hängen, solange die Oeffnung wagrecht bleibt, d. i. so lange sich Luftdruck und Wasserdruck überall im Gleichgewicht halten, wie in Fig. 158 A; sobald man das Gefäß einigermaßen schief hält, wie Fig. 158 B, bekommen die Wassertheilchen in der Oeffnung verschiedene Höhe, der Wasserdruck ist dann bei a kleiner als der Luftdruck, bei b größer, so daß bei a die Luft eindringt, während bei b das Wasser herausstürzt.

Fig. 157.



nat. Gr.

Fig. 158. Fig. 159.



1/5 nat. Gr. 1/10 nat. Gr.

Füllt man eine Flasche, verschließt sie einstweilen mit dem Finger und taucht den Hals verkehrt in ein Gefäß mit Wasser, Fig. 159, so entleert sie sich ebenfalls nicht, weil der Druck der Luft auf die freie Wasseroberfläche, der sich bekanntlich in der Flüssigkeit fortpflanzt, das Ausfließen derselben hindert. Ist der Hals einer umgestürzten Fasche so eng (5^{mm} oder weniger,

wie bei einem kleinen Medicinglase), daß Luft und Wasser nicht bequem nebeneinander vorbei können, so findet, auch ohne daß der Flaschenhals eingetaucht ist, ein Ausfließen nicht statt.

Fig. 160.

1/100 nat. Gr.

Der Druck der Luft ist so beträchtlich, daß man anstatt der hier angedeuteten kleinen Gefäße auch sehr große, hohe anwenden könnte, ohne daß Wasser ausflösse; erst wenn dieselben über 10^m, also etwa drei Stockwerke hoch sind, kann der Luftdruck nicht mehr alles darin befindliche Wasser tragen. Fig. 160 zeigt eine Vorrichtung, mit welcher man dies nachweisen kann. Ein aus Glasröhren mit messingnen Verbindungsstücken zusammengesetztes, etwa 12^m langes Rohr, das in einem Treppenhause oder an einem besonderem Gerüste befestigt wird, ist an beiden Enden mit Hähnen und oben noch mit einem Fülltrichter versehen; das untere Ende befindet sich in einem Gefäße mit Wasser. Man öffnet zuerst beide Hähne, es tritt von unten Wasser in das Rohr und füllt es bis zur Höhe des äußeren Niveaus 0, dann schließt man den unteren Hahn, füllt durch den Trichter die ganze Vorrichtung mit Wasser und schließt den oberen Hahn. Oeffnet man nun den unteren Hahn wieder, so fließt etwas Wasser aus dem Rohre aus, nämlich soviel, daß dasselbe bis etwa 10^m hoch über den äußeren Flüssigkeitsspiegel gefüllt bleibt, wie es die Figur zeigt. Sonach vermag der Luftdruck eine 10^m hohe Wassersäule zu tragen, er ist eben so groß, als der Druck einer solchen Säule.

Viel bequemer, als mit der eben beschriebenen, nur schwierig herzustellenden Vorrichtung, läßt sich die Größe des Luftdrucks ermitteln, wenn man statt des Wassers Quecksilber anwendet. Da dieses viel schwerer ist, als Wasser, so reicht eine viel kleinere Säule davon aus, um dem Luftdruck das Gleichgewicht zu halten. Ein 80^{cm} langes, an einem Ende verschlossenes Glasrohr von etwa 5^{mm} Weite reicht zu diesem Versuche aus; man füllt es mit Quecksilber, hält es mit dem Finger zu, kehrt es um, taucht die Mündung in ein Gefäß mit Quecksilber und nimmt den Finger weg. Solange man das Rohr so schräg hält, daß das obere Ende nicht oder wenig über 70^{cm} höher liegt, als die Quecksilberfläche im Gefäße, so lange bleibt das Rohr mit Quecksilber ausgefüllt, sobald man aber das Rohr senkrecht aufrichtet, zieht sich das Quecksilber aus dem oberen Ende des Rohres zurück und bleibt in einer Höhe von etwas mehr als 70^{cm} stehen, Fig. 161.

Eine Vorrichtung zum Messen des Luftdrucks heißt ein **Barometer**, und zwar die in Fig. 160 dargestellte ein **Wasserbarometer**, die zuletzt besprochene ein **Quecksilberbarometer**. Zum wirklichen Gebrauch verwendet man nirgends erstere, sondern zumeist letztere Art. Beobachtet man an verschiedenen Orten mit dem Barometer, so zeigt sich, daß dieses verschieden hoch steht, der Luftdruck also verschieden groß ist.

Es ist leicht einzusehen, daß dem so sein muß. Die Erdoberfläche, d. i. der Boden des Luftmeeres, ist nicht eben, sondern vielfach erhoben und gesenkt; die an verschiedenen Orten aufgestellten Barometer befinden sich also nicht gleich tief unter der Oberfläche des Luftmeeres, und da in der Luft, wie in einer tropfbaren Flüssigkeit der Druck von der Höhe nach der Tiefe zunimmt, weil die oberen Theile auf die unteren drücken, so muß an Orten, welche in der Ebene und im Thale gelegen sind, das Barometer höher stehen, d. h. einen größeren Druck anzeigen als auf den Bergen.

Fig. 161.

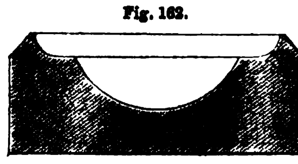
1/10 nat. Gr.

Die tiefst gelegenen Punkte der festen Erdoberfläche sind natürlich die am Meere; an der Meeresküste zeigt deshalb auch das Barometer den höchsten Stand und zwar beträgt da die senkrechte Höhe der Quecksilberkuppe in der Glasröhre über der freien Quecksilberoberfläche im Gefäße durchschnittlich 760^{mm}. Für eine Erhebung von 11^{m} nimmt der Barometerstand um 1^{mm} ab, so daß z. B. an einem Orte, der 330^{m} über dem Meeresspiegel liegt, der durchschnittliche Barometerstand $760 - \frac{330}{11} = 730^{mm}$ beträgt. An einem und demselben Orte beobachtet man aber keineswegs immer denselben Stand des Barometers, vielmehr zeigen sich Schwankungen, die im Ganzen etwa 50^{mm} betragen. Bliebe der Luftdruck immer genau derselbe, so müßte die ganze Luftmasse der Atmosphäre in vollkommener Ruhe verharren; die heftigen Bewegungen der Luft, die thatsächlich vorkommen, die Winde und Stürme sind nur möglich, wenn der Druck ein wechselnder ist, der die Luft bald hier, bald dorthin treibt. Welches die Ursache dieser Aenderungen des Luftdrucks und somit der Luftströmungen ist, kann erst später in der Lehre von der Wärme besprochen werden, wenn von den Witterungserscheinungen die Rede ist.

Ein Barometer von der hier beschriebenen Art, wie es zu einem vorübergehenden Versuche dient, ist leicht herzustellen. Ein Glasrohr von etwas mehr als 80^{cm} Länge wird möglichst nahe an einem Ende zu einer kurzen Spitze ausgezogen und diese mit der Löthrohrflamme angeblasen, um sie zu verschmelzen und abzurunden; man dreht dabei das Rohr zwischen den Fingern der linken Hand, um zu verhindern, daß die Verschmelzung einseitig wird; nach dem Herausnehmen aus der Löthrohrflamme lasse man das Glasrohr langsam abkühlen, indem man es über die gewöhnliche Flamme bringt und unter fortwährendem Drehen allmälig immer höher hält; bei schnellem Abkühlen zerspringt das Glas leicht, wenn es einigermaßen dick ist. Am anderen Ende rundet man nur die Kanten des Rohres in der früher beschriebenen Weise ab, um ihnen die Schärfe zu nehmen. Das Rohr muß immer rein und vor allen Dingen trocken sein; man nehme von vorn herein ein reines Rohr, da es sich, wenn es an einem Ende verschlossen ist, kaum mehr reinigen läßt; ein beiderseits offenes Rohr kann man allenfalls ausputzen, indem man einen Bindfaden hindurchzieht (nöthigenfalls mittelst eines langen Drahtes), an das Ende des Fadens ein kleines Leinwandläppchen befestigt und dieses, dafern nöthig, zu wiederholten Malen, hindurchzieht. Beim Abschmelzen der Ränder gelangt leicht etwas Feuchtigkeit in das Rohr, weil eine Flamme immer Wasserdampf entwickelt; das Austrocknen des Rohres geschieht, indem man ein genügend (85 bis 90^{cm}) langes, ganz enges Glasrohr in das am Ofen oder durch Hin- und Herziehen über der Flamme erwärmte Barometerrohr bis fast an's verschlossene Ende hineinschiebt und an dem vorragenden Ende des engen Rohres saugt, um so einen Luftstrom durch das Ganze zu treiben, welcher die Flüssigkeit fortnimmt.

Beim Füllen des Rohres mit Quecksilber sollen keine Luftblasen darin zurückbleiben, weil diese sonst beim Aufrichten desselben nach dem oberen Theile steigen und wegen des Bestrebens der Luft, sich auszudehnen, einen Druck auf die Oberfläche des Quecksilbers ausüben, dieses also niederdrücken und deshalb die Höhe des Barometerstandes kleiner erscheinen lassen, als sie in der Wirklichkeit sein sollte. Man füllt das Rohr mittelst eines kleinen, aus Papier zusammengedrehten Trichters zunächst fast voll, so daß nur ein etwa 2^{cm} langes Stück leer bleibt, verschließt dasselbe, nachdem man den Trichter entfernt hat, durch festes Aufdrücken der Fingerspitze und wendet dasselbe vorsichtig hin und her, so daß die absichtlich gelassene, große Luftblase mehrmals die ganze Länge des Rohres durchläuft; sie nimmt dabei die kleineren, an der Glaswand hängen gebliebenen Blasen in der Regel mit fort; schließlich füllt man das letzte Stück des Rohres noch vollkommen an. Es gelingt auf diese Weise zwar nicht alle, aber doch die größeren Blasen zu vermeiden; etwas besser geht dies allerdings mit einem Rohre von etwa 1^{cm} Weite; ein solches Rohr bietet auch in sofern einen Vortheil, als darin die Capillarität keinen merkbaren Fehler verursacht, während sie in engeren Röhren das Quecksilber etwas zu tief stehen läßt, es faßt aber bei 80^{cm} Länge ohngefähr 850^{gr} Quecksilber und da man auch noch Quecksilber braucht, um das Gefäß zum Eintauchen des Barometerrohres zu füllen, so wird man sich in der Regel mit einem engeren Rohre begnügen. Das Gefäß wählt man zweckmäßig von Eisen in der Form, welche Fig. 162 im Durchschnitt zeigt, diese Form erfordert wenig Quecksilber und ist außer dem gegenwärtigen noch zu vielen anderen Versuchen zu brauchen.

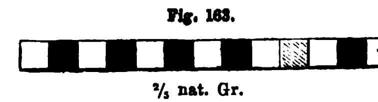
Fig. 162.



½ nat. Gr.

Zum Messen der Höhe bedient man sich eines hölzernen, in Centimeter getheilten Maßstabes. Vom Tischler läßt man sich aus trocknem, harten Holze ein vierkantiges Stäbchen machen, 1^{m} lang, 1^{cm} breit und 5^{mm} dick und dieses auf einer Seite mit weißer Oelfarbe anstreichen. Mit Hülfe eines Metermaßes theilt man die ganze Länge der angestrichenen Fläche durch Bleistiftstriche in Quadratcentimeter. Das erste, dritte, fünfte und alle folgenden ungeradzahligen Centimeter läßt man weiß, jedes zehnte lackirt man roth, die übrigen geradzahligen schwarz. In Fig. 163 ist das Roth durch Schraffirung angedeutet. Diesen Maßstab verwendet man in allen Fällen, wo es weniger auf große Genauigkeit, als auf deutliche Sichtbarkeit ankommt; die verschiedene Färbung der einzelnen Centimeter gestattet, die Anzahl derselben auch aus einiger Entfernung bequem zu erkennen, ohne daß sie mit Ziffern bezeichnet sind. Als schwarzen Lack nimmt man den gewöhnlichen **Asphaltlack**, den rothen Lack stellt man sich dar, indem man ein wenig Schellackfirniß mit einer Messerspitze Mennige zusammenreibt, oder indem man etwas Siegellack in wenig Weingeist auflöst. Den Pinsel, mit dem man den Asphaltlack aufgestrichen hat, reinigt man unmittelbar nach dem Gebrauche mit etwas Terpentinöl, den vom rothen Lack mit etwas Weingeist.

Fig. 163.



⅖ nat. Gr.

Beim Wiederumlegen des senkrecht gehaltenen Barometerrohres verfahre man langsam, bei schnellem Neigen schlägt das Quecksilber so stark an das verschlossene Glasende, daß dieses abbrechen kann.

Wenn ein Barometer zu wiederholten, genaueren Messungen des Luftdrucks und nicht zu einem einzelnen Versuche dienen soll, so muß es eine wesentlich andere Einrichtung erhalten. Die zum regelmäßigen Gebrauch dienenden Barometer sind meist **Heberbarometer**, d. h. solche, deren Rohr unten nicht in ein Gefäß eingetaucht, sondern aufwärts gebogen ist, wie Fig. 164. Ein solches Heberbarometer ist für den Transport bequemer als ein Gefäßbarometer und hat den Vortheil, daß die Capillarität keinen merklichen Fehler verursachen kann, wenn die beiden Schenkel des Rohres gleich

weit sind, weil sie dann das Quecksilber auf jeder Seite gleich stark niederzudrücken sucht und dieser gleiche, entgegengesetzt gerichtete Druck sich wechselseitig aufhebt. Natürlich ändert sich beim Heberbarometer der Stand des Quecksilbers immer in beiden Röhren zugleich, der Maßstab des Barometers wird deshalb entweder verschiebbar gemacht, um sein unteres Ende immer in die Höhe der unteren Quecksilberkuppe zu bringen, Fig. 164 A, oder so angebracht, daß sein Nullpunkt tiefer liegt, als das Quecksilber im offenen Schenkel jemals stehen kann, wie Fig. 164 B; bei einem auf die letztere Art eingerichteten Instrument zieht man die Höhe der unteren Quecksilberkuppe von der Höhe der oberen ab, um den eigentlichen Stand des Barometers zu finden.

Fig. 164.

A B

1/10 nat. Gr.

Fig. 165.

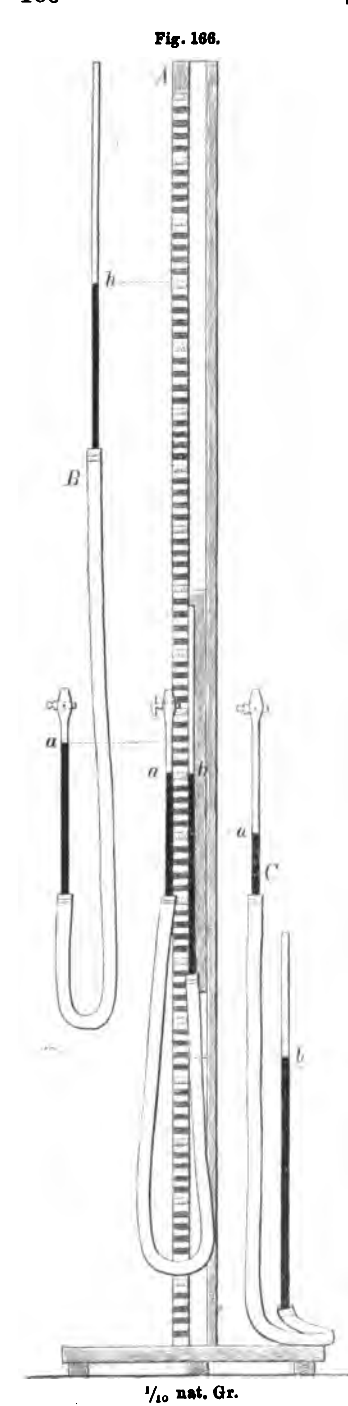
1/10 nat. Gr.

Die gewöhnlichen Barometer, welche man als Wettergläser vielfach findet und welche die Form Fig. 165 haben, sind zu wirklichen Bestimmungen der Größe des Luftdrucks nicht zu brauchen; wegen der Enge des geschlossenen Schenkels stehen sie stets merklich zu tief und haben deshalb meist eine falsche Maßtheilung, wovon man sich leicht überzeugt, wenn man mittelst des Metermaßes von dem mit 760^{mm} bezeichneten Theilstrich bis auf die Höhe des offenen Quecksilberspiegels heruntermißt; anstatt nach metrischem Maße sind Barometer häufig noch nach Pariser Zollen eingetheilt, 28 von diesen sind 758^{mm}.

Um den Raum über dem Quecksilber, die nach dem Erfinder des Barometers genannte Toricelli'sche Leere, wirklich ganz frei von Luft zu bekommen, wie sie bei guten Barometern sein muß, giebt es kein anderes Mittel, als das Quecksilber beim Füllen des Barometers in lebhaftes Kochen zu versetzen, so daß die Quecksilberdämpfe die letzten Spuren von Luft mit fortreißen; dieses Auskochen eines Barometers kann nur von geübten Arbeitern vorgenommen werden.

Anstatt der zerbrechlichen, für den Transport auch durch ihre lange Form unbequemen Quecksilberbarometer benutzt man in neuerer Zeit vielfach die sogenannten Metallbarometer (Aneroid- oder Holostericbarometer). Der Hauptheil dieser Instrumente ist ein Hohlkörper aus elastischem Metallblech, welcher entweder die Gestalt einer flachen Dose oder einer gebogenen Röhre hat. Dieser Hohlkörper ist vollkommen luftleer gemacht, er wird bei zunehmendem Druck der äußeren Luft etwas zusammengepreßt und dehnt sich bei abnehmendem Luftdruck infolge seiner Elasticität wieder aus; die an und für sich sehr geringen Veränderungen seiner Form werden durch ein Räder- und Hebelwerk auf

Fig. 166.



$^1/_{10}$ nat. Gr.

einen Zeiger übertragen, welcher dieselben bedeutend vergrößert darstellt; der Zeiger spielt über einer kreisförmigen Theilung, die aber nicht unmittelbar, sondern nur durch Vergleichung mit einem Quecksilberbarometer hergestellt werden kann.

Wenn man einmal weiß, wie hoch eine Quecksilbersäule sein muß, um denselben Druck auszuüben, wie die atmosphärische Luft, so läßt sich auch der Druck der Atmosphäre nach Gewicht berechnen. Der Druck auf eine Fläche von ein Quadratcentimeter muß gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 76^{cc}, d. i. gleich $76 \cdot 13{,}6 = 1033^{gr}{,}6$ oder nahezu gleich 1^{kgr} sein. Es kann Wunder nehmen, daß man einen so beträchtlichen Druck, der natürlich auch auf unseren Körper wirkt, nicht unmittelbar fühlt. Die Oberfläche des Körpers eines Mannes ist im Durchschnitt etwa 15 000 Quadratcentimeter groß, der Druck der Atmosphäre auf diese Fläche somit 15000^{kgr} oder 300 Centner. Zunächst darf man aber die Sache nicht so auffassen, als ob ein solches Gewicht einem Menschen zu Boden zu drücken sucht, denn dieser Druck wirkt auf den Körper von allen Seiten her und könnte höchstens suchen, ihn zusammenzudrücken; aber auch das ist nicht möglich. Die weichen, fleischigen Theile sind ganz mit tropfbarer Flüssigkeit durchdrungen, die nicht zusammendrückbar ist und die Höhlungen des Körpers, Mund, Lunge, Ohren stehen mit der äußeren Luft in Verbindung; der Luftdruck pflanzt sich deshalb in's Innere derselben fort und drückt so dieselben ebenso stark von innen nach außen, wie sie die äußere Luft von außen nach innen drückt. Merkbar wird für uns der äußere Luftdruck zumeist erst dann, wenn er auf irgend einer Stelle weggenommen wird, so daß nur ein einseitiger Druck übrig bleibt. Setzt man auf die äußere Fläche der Hand oder auf eine fleischige Stelle des Armes die weite Oeffnung (3 bis 4^{cm} Durchmesser) eines kleinen Glastrichters fest auf, so daß sie dicht schließt und saugt mit dem Munde an dem Rohre des Trichters, d. h. vermindert den Druck der im Trichter befindlichen Luft, so treibt der größere Druck der äußeren Luft die Haut in Form einer runden Wölbung in den Trichter hinein und zugleich wird dieselbe

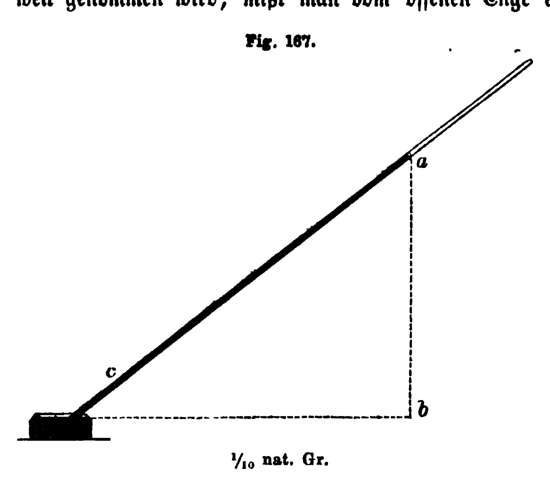
geröthet, weil das Blut mit Gewalt nach dem Theile hingepreßt wird, an dem ein kleinerer Druck stattfindet.

26. **Mariotte'sches Gesetz.** Luftartige Körper ändern, wie wir schon früher (§. 3) gesehen haben, ihr Volumen, wenn sich der Druck ändert; es ist nun unsere Aufgabe, genauer zu untersuchen, in welcher Beziehung Volumen und Druck einer Luftmasse zu einander stehen. Fig. 166 zeigt die wesentlichsten Theile einer Vorrichtung, welche zu Versuchen über die vorliegende Frage dient. Zwei Glasröhren a und b, von denen a oben mit einem luftdicht schließenden, gläsernen Hahne versehen, b oben offen ist, stehen unten in Verbindung durch einen langen Kautschukschlauch, der mit Wolle oder Baumwolle umsponnen ist, um ihm noch größere Festigkeit zu verleihen. Das Glasrohr a ist an einer langen, mit einer Maßtheilung versehenen Latte dauernd befestigt, b dagegen sitzt auf einem Holzstück, das in einer Nuth der Latte auf- und abgeschoben und an jeder beliebigen Stelle festgehalten werden kann. Die Vorrichtungen zum bequemen Verschieben und Festklemmen des Rohres b sind in der Figur weggelassen, um dieselbe nicht unnöthig verwickelt zu machen. Der Kautschukschlauch und ein Theil der Glasröhren ist mit Quecksilber gefüllt. Beim Gebrauche öffnet man den Hahn des Rohres a und stellt zunächst das bewegliche Rohr b in solcher Höhe fest, daß in beiden Röhren das Quecksilber bei einer bestimmten Stelle, etwa bei 90^{cm} steht, Fig. 166 A. Solange beide Röhren offen sind, muß beiderseits das Quecksilber gleich hoch stehen, weil beiderseits derselbe Luftdruck auf das Quecksilber wirkt; nehmen wir beispielsweise an, zur Zeit des Versuches betrage der Luftdruck 74^{cm}, d. h. er sei so groß, wie der Druck einer 74^{cm} hohen Quecksilbersäule. Schließt man jetzt den Hahn des Rohres a, so wird eine Luftmasse abgesperrt, deren Druck gleich dem der äußeren Luft, also gleich 74^{cm} ist und zwar bei der in Fig. 166 dargestellten Vorrichtung eine Luftmasse, welche von 90 bis 100^{cm} reicht, also ein 10^{cm} langes Stück des Glasrohres a ausfüllt. Schiebt man nun das Rohr b in die Höhe, so daß das Quecksilber rechts höher steht, als links, so wird dieses vermöge seines Gewichtes die Luft in a zusammendrücken. Bringt man den Quecksilberspiegel rechts auf die Höhe von 169^{cm}, so steigt das Quecksilber links auf 95^{cm}, Fig. 166 B; die Luft erfüllt also nachher nur das Rohrstück von 95 bis 100^{cm}, ihr Volumen ist also auf die Hälfte des ursprünglichen verringert worden. Dabei steht das Quecksilber rechts um 169—95, d. i. um 74^{cm} höher, als links; der Druck, unter welchem sich die Luft in a befindet, ist also 74^{cm} größer geworden, als er anfangs war und als der äußere Atmosphärendruck ist; da dieser selbst 74^{cm} beträgt, ist also der Druck der Luft in a jetzt doppelt so groß, als zu Anfang. Schiebt man das Rohr b wieder abwärts, so sinkt auch in a das Quecksilber und steht, wenn es in b 90^{cm} hoch steht, auch in a wieder in gleicher Höhe; bei der Verkleinerung des Drucks nimmt das Volumen wieder zu. Geht man mit b noch weiter abwärts, so sinkt das Quecksilber in a unter 90^{cm} herunter, aber nicht so weit als es in b abwärts gebracht wird, so daß es beispielsweise in a auf 80^{cm} sinkt, wenn es in b bei 43^{cm} steht, Fig. 166 C. Daß jetzt das Quecksilber links höher steht, als rechts, kann seinen Grund nur darin haben, daß die Luft in a weniger stark auf das Quecksilber drückt, als die äußere Luft in b; der Höhenunterschied der Quecksilberkuppen beträgt $80 - 43 = 37^{cm}$, der Druck in a muß also um 37^{cm} kleiner sein, als der Atmosphärendruck, welcher in b wirkt; der Druck in a beträgt demnach

$74 - 37 = 37^{cm}$, d. i. er ist halb so groß, als er ursprünglich war. Die beiden hier beschriebenen Versuche zeigen, daß bei einer Zunahme des Druckes auf das Doppelte das Volumen auf die Hälfte verkleinert, bei einer Abnahme des Druckes auf die Hälfte das Volumen auf das Doppelte vergrößert wird. Stellt man noch weitere Versuche mit verschieden großem Druck an, so ergiebt sich als allgemeines Gesetz: **Das Volumen einer Luftmasse nimmt in dem Verhältnisse ab, in welchem der Druck zunimmt und nimmt in dem Verhältnisse zu, in welchem der Druck abnimmt**, oder kürzer: **Druck und Volumen einer Luftmasse stehen im umgekehrten Verhältnisse.** Dieser Satz, welcher das **Mariotte'sche Gesetz** heißt, gilt nicht nur für die atmosphärische Luft, sondern auch für die übrigen Gasarten.

Weniger anschaulich, aber mit einfacheren Mitteln, als die Vorrichtung Fig. 166 ist, läßt sich das Mariotte'sche Gesetz auf folgende Art durch Versuche erläutern: An der zu dem Barometerversuch dienenden Glasröhre, welche möglichst genau gleichmäßig weit genommen wird, mißt man vom offenen Enge eine Länge von 10, vom verschlossenen Ende eine Länge von 20^{cm} ab und bezeichnet die dadurch bestimmten Punkte durch schmale, auf die Röhre geklebte Papierstreifen a und c, Fig. 167. Man füllt nun die Röhre bis zu der in der Nähe der Oeffnung befindlindlichen Papiermarke mit Quecksilber, so daß ein 10^{cm} langes Stück Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre darin bleibt, verschließt mit dem Finger und bringt das Rohr, wie bei dem Barometerversuch in das Quecksilbergefäß. Nach dem Wegnehmen des Fingers neigt man das Rohr so, daß die Quecksilberkuppe bei der oberen Marke steht, das Luftvolumen also ein 20^{cm} langes Stück des Rohres, d. i. ein doppelt so großes Volumen einnimt, als zuvor; mißt man nun die senkrechte Höhe a b der Quecksilberkuppe über dem Niveau des äußeren Quecksilberspiegels, so wird man sie halb so groß finden, als die Höhe des Barometerstandes. Wenn aber in dem lufthaltigen Rohre das Quecksilber halb so hoch steht, als in einem ganz luftleeren, so muß die Luft im oberen Theile dieses Rohres das Quecksilber halb so stark abwärts drücken, als es die äußere Luft aufwärts drückt; es ist also auch hier der Druck der auf das Doppelte ausgedehnten Luft die Hälfte von dem ursprünglichen.

Fig. 167.



1/10 nat. Gr.

Ein 60 bis 70^{cm} langes, 2^{mm} weites Glasrohr wird, nachdem es gut ausgetrocknet ist, an einem Ende zu einer kurzen Spitze ausgezogen und diese abgebrochen, so daß eine feine Oeffnung entsteht; dann taucht man das weite Ende in Quecksilber und saugt (vorsichtig, damit keine Feuchtigkeit eindringt) an der feinen Oeffnung, so daß sich ein Quecksilberfaden in das Rohr hineinzieht; man macht denselben am besten halb so lang, als die durchschnittliche Höhe des Barometerstandes an dem Orte ist, an dem man sich befindet; ist diese 74^{cm}, so nimmt man den Quecksilberfaden 37^{cm} lang. Man bringt nun das Rohr in wagrechte Lage und rückt den Quecksilberfaden durch Klopfen an das Rohr oder ganz vorsichtiges Neigen so, daß sein Ende etwa 10^{cm} von der feinen Oeffnung entfernt ist und schmilzt diese zu, Fig. 168 A. Beim Zuschmelzen achte man darauf, nur das äußerste Ende des Glasrohrs mit der Löth-

rohrflamme zu bestreichen, damit man nicht unnöthigerweise die Luft in der Röhre erwärmt; die Erwärmung würde die Luft ausdehnen und einen Theil derselben aus der Röhre heraustreiben, ehe diese zugeschmolzen ist. Damit während des Zuschmelzens der Quecksilberfaden nicht verrückt wird, legt man das Glasrohr so auf den Tisch, daß das abzuschmelzende Ende etwa 10^{cm} über den Rand vorsteht, nimmt dann die Weingeist- oder Gaslampe in die linke, das Löthrohr in die rechte Hand und schmilzt zu, ohne das Glasrohr zu bewegen.

Nach dem Erkalten richtet man das Rohr senkrecht und zwar einmal so, daß die Oeffnung oben, das zweite Mal so, daß sie unten ist; im ersten Falle wird das Luftvolumen auf zwei Drittel der ursprünglichen Größe zusammengedrückt, Fig. 168 B, im zweiten Falle auf das Doppelte des anfänglichen Volumens ausgedehnt, Fig. 168 C. Solange das Glasrohr wagrecht liegt, sind beide Enden des Quecksilberfadens in gleicher Höhe, der Druck der von dem Faden abgesperrten Luft ist also derselbe, wie der der äußeren Luft; richtet man aber die Oeffnung nach oben, so kommt zu dem Drucke der Atmosphäre noch der eines Quecksilberfadens hinzu, welcher halb so groß ist, als die Barometerhöhe; der Druck auf die eingeschlossene Luftmasse ist also dann anderthalbmal, d. i. $^3/_2$ mal so groß, als zuvor und da Druck und Volumen im umgekehrten Verhältniß stehen, so muß das Volumen auf $^2/_3$ seiner anfänglichen Größe abnehmen. Kehrt man die Oeffnung des Rohres abwärts, so muß der äußere Luftdruck den Quecksilberfaden tragen; dieser Quecksilberfaden wiegt die Hälfte des Luftdrucks auf, deshalb kann oberhalb des Quecksilbers, in der abgesperrten Luftmasse der Druck nur noch halb so groß sein als der Atmosphärendruck, also auch nur $^1/_2$ mal so groß, als der Druck in der abgesperrten Luft bei wagrechter Lage des Glasrohres und dieser Abnahme des Druckes auf die Hälfte entspricht der Zunahme des Volumens auf das Doppelte.

Fig. 168.

A

B C

A B C $^1/_{10}$ nat. Gr.

Mit der Zusammenpressung oder Ausdehnung der Luft ändert sich ihr spec. Gew. Ein Liter Luft, das sind 1000^{cc}, wiegt unter gewöhnlichen Umständen, wenn das spec. Gew. der Luft $^1/_{800}$ ist, $\frac{1000}{800} = 1^{gr},25$. Bringt man diese Luft unter einen doppelt so großen Druck, so preßt sie sich auf 500^{cc} zusammen; dann wiegt also 1^{cc} derselben $\frac{1,25}{500} = 0^{gr},0025 = \frac{1}{400} = \frac{2}{800}$ Gramm und das spec. Gew. der Luft ist dann $\frac{2}{800}$, d. h. es ist doppelt so groß, als es anfangs war. Während also das Volumen einer Luftmasse ihrem Druck umgekehrt proportional ist, ist **das specifische Gewicht der Luft dem Druck direct proportional.**

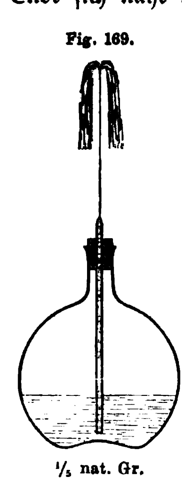
Da in größeren Höhen der Luftdruck kleiner ist, als in der Tiefe, so muß auch die Dichtigkeit, das spec. Gew. der Luft nach oben hin abnehmen, deshalb ist die auf Seite 157 gegebene Regel über die Abnahme des Luftdrucks nach oben nicht genau, sondern nur annähernd richtig, und nur so lange, als es sich nicht um bedeutende Höhen handelt. Wenn an der Erdoberfläche eine 11^{m} hohe Luftschicht ebenso schwer ist, wie eine 1^{mm} hohe Quecksilberschicht, so wird in größerer Höhe, wo die Luft des geringeren Druckes wegen leichter ist, als unten, eine Schicht von größerer Dicke erforderlich sein, wenn sie dasselbe Gewicht haben soll. Aus diesem Grunde nimmt der Luftdruck von unten nach oben nicht gleichmäßig, sondern allmälig immer langsamer ab und es erfordert die genaue Ermittelung dieser Abnahme

eine sehr verwickelte Rechnung, welche hier nicht durchgeführt werden kann. Es ist aber nicht nur möglich, genau zu berechnen, wie der Luftdruck abnehmen muß, wenn man von einem tieferen Punkte zu einem um ein bestimmtes Stück höheren aufsteigt, man kann auch umgekehrt aus dem Unterschiede des Luftdrucks an zwei verschiedenen Punkten berechnen, wie viel der eine dieser Punkte höher liegt, als der andere und es wird in der That das Barometer zu Höhenmessungen vielfach benutzt.

27. Apparate, welche auf dem Luftdruck und dem Mariotte'schen Gesetze beruhen. Auf dem Druck der Luft und auf ihrer Elasticität, von der uns das Mariotte'sche Gesetz Rechenschaft giebt, beruhen eine große Anzahl vielfach angewendeter Vorrichtungen, bei denen in der Regel tropfbare und luftförmige, oder auch Körper von allen drei Aggregatzuständen in Beziehung zueinander treten.

Der Heronsball, Fig. 169 ist ein gewöhnlich gläsernes Gefäß, durch dessen Hals luftdicht schließend ein beiderseits offenes Rohr geht, dessen eines Ende sich nahe über dem Boden des Gefäßes befindet, während das andere zu einer feinen Spitze verengt ist. Der Heronsball wird ein Drittel oder zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Verdichtet man die Luft im Innern des Heronsballes, indem man die Mündung der Röhre fest zwischen die Lippen nimmt und kräftig hineinbläst, so wird der Druck innen größer, als der äußere Luftdruck und treibt, wenn man den Heronsball vom Munde nimmt, einen Wasserstrahl aus demselben heraus, welcher im ersten Augenblick 1^m und noch höher springen kann, allmählig aber niedriger und niedriger wird. In dem Maße, in welchem die zusammengepreßte Luft Wasser aus dem Heronsball heraustreibt, dehnt sie sich aus und in dem Maße, in welchem sie sich ausdehnt, nimmt ihr Druck ab, bis er schließlich wieder auf die Größe des Atmosphärendrucks gesunken ist und damit das Ausfließen des Wasserstrahles aufhört. Die Spritzflasche (Fig. 36) ist, wie man leicht sieht, nichts als ein Heronsball, welcher ein dauerndes Einblasen von Luft, auch während der Strahl ausfließt, gestattet.

Fig. 169.



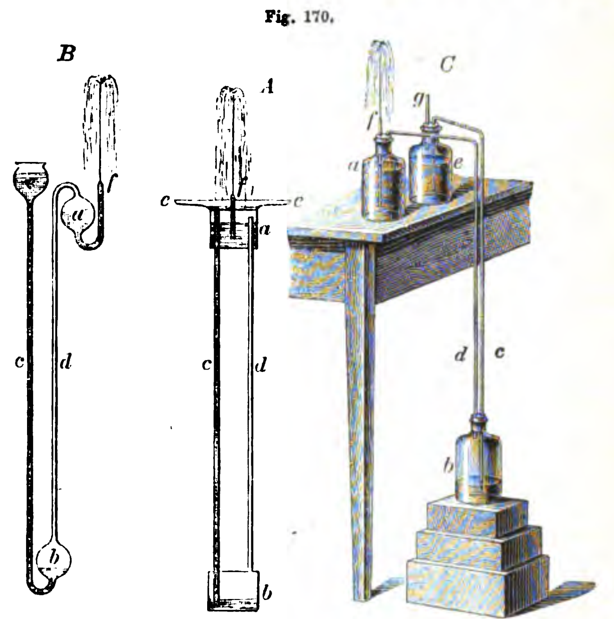
1/5 nat. Gr.

Aus einer einerseits ausgezogenen Glasröhre, einem Kork und einer Flasche läßt sich ein Heronsball leicht darstellen; die Flasche kann natürlich auch jede andere, als die in Fig. 169 dargestellte Form haben; die Glasröhre soll einige Millimeter, an ihrer Spitze aber nur 0,5 bis 1^{mm} weit sein. Füllen kann man den Heronsball nach Abnehmen des Korkes oder auch, indem man durch Saugen an dem Rohr die Luft im Innern verdünnt, das Rohr mit dem Finger zuhält und dann unter Wasser öffnet. Die Luft im Heronsball erhält bei der Verdünnung durch das Saugen geringeren Druck, als die äußere Luft und diese treibt dann solange Wasser durch das Rohr, bis die innere Luft wieder auf ihre frühere Dichtigkeit zusammengepreßt ist und dadurch mit der äußeren gleichen Druck erlangt hat. Ist auf ein Mal nicht Wasser genug in den Heronsball gelangt, so wiederholt man das Verfahren; dabei muß man aber den Heronsball umkehren, während man daran saugt, damit das innere Ende des Rohres aus dem Wasser kommt und man nicht das letztere, sondern Luft aussaugt.

Anstatt durch Blasen mit dem Munde (oder durch eine Verdichtungspumpe) kann man die Luft im Heronsball auch zusammendrücken (comprimiren) durch den Druck einer Wassersäule, wie es beim Heronsbrunnen

geschieht. Zwei blecherne Gefäße a und b, Fig. 170 A, sind verbunden durch zwei Röhren c und d, von denen erstere nahe am Boden von b mündet, während sie durch a hindurchgeht, ohne mit dessen Hohlraum in Verbindung zu stehen; sie mündet oben in ein flaches Becken e e. Das Rohr d geht vom Deckel des Gefäßes b aus durch den Boden von a hindurch und mündet in a nahe am oberen Theile. a ist ist ein Heronsball, dessen Sprungröhre f in der Mitte befindlich ist. Die Spitze dieser Röhre ist häufig zum Abschrauben eingerichtet, damit man unmittelbar durch f Wasser in den Heronsball gießen kann. Ist dies nicht der Fall, so füllt man a mit Wasser, indem man zuerst in das Becken e e Wasser gießt, welches durch c nach b läuft und dann den ganzen Heronsbrunnen umdreht, da dann dieses Wasser von b nach a fließt. Ist das obere Gefäß auf eine oder die andere Art mit Wasser gefüllt, so braucht man nur eine flache Wasserschicht in das Becken e e zu gießen, um zu bewirken, daß aus f ein Wasserstrahl hervorspringt, welcher in der Figur der Raumersparniß wegen zu niedrig gezeichnet ist; in Wirklichkeit ist er fast so hoch, wie der Heronsbrunnen selbst. Dieser Strahl springt so lange gleichmäßig fort, bis das Wasser in a bis unter das untere Ende von f gesunken ist, dann entweicht durch f nur noch etwas Luft. Das in das Becken gegossene Wasser füllt das Rohr c und der Druck dieser Wassersäule verdichtet in einem gewissen Grade die Luft in b; da b aber durch das Rohr d mit a verbunden ist,

Fig. 170.



A B $^1/_{10}$ nat. Gr. a. P. $^1/_{16}$ nat. Gr.

so pflanzt sich dieser Druck in der Luft bis auf den Wasserspiegel des oberen Gefäßes fort und bewirkt so das Springen des Strahles. In dem Maße, in welchem Wasser aus a entweicht, dringt die Luft aus b nach a; das in das Becken zurückfallende Wasser des springenden Strahles fließt durch c fortdauernd nach b und nimmt den Raum der verdrängten Luft ein. Am Schlusse des Versuches befindet sich alles Wasser in b; man braucht den Heronsbrunnen dann nur umzukehren, um a wieder mit Wasser zu füllen.

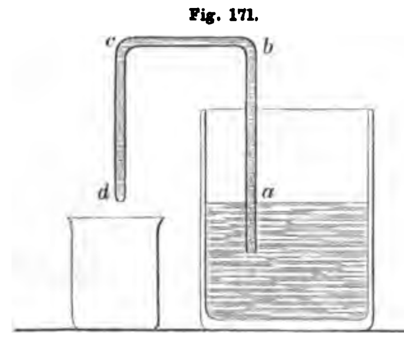
Häufig bringt man Heronsbrunnen im Fußgestell von Blumentischen oder Aquarien an; da man dann die Vorrichtung nicht umkehren kann, so muß die Spitze von f abzuschrauben und b unten mit einem Ablaßhahn versehen sein, um a füllen und b entleeren zu können.

Ganz gläserne Heronsbrunnen werden in der Fig. 170 B dargestellten Form verfertigt, a, b, c, d und f entsprechen den gleich bezeichneten Theilen der Figur A, anstatt des Beckens e e dient aber hier der Trichter e; dieser muß mindestens ebenso viel fassen, wie a oder b, weil bei dieser Form des Apparates das Wasser des Strahles nicht aufgefangen wird. Um die Vorrichtung in Gang zu setzen, füllt man zuerst b durch den Trichter e, kehrt das Ganze um, daß das Wasser nach a läuft und füllt nun den Trichter e.

Aus Glasflaschen, Röhren und Korken läßt sich ein Heronsbrunnen in der durch Fig. 170 C dargestellten Weise leicht zusammenstellen. Die Theile a, b, c, d und f entsprechen auch hier den gleichbezeichneten Theilen der Figuren A und B; die Flasche e dient anstatt des Trichters in B. Diese Flasche ist mit einem dichtschließenden Kork verschlossen, durch welchen außer dem abwärts gebogenen Theile des Rohres c ein kurzes Glasrohr g hindurchgeht; wenn man nur einen Augenblick schwach in dieses Rohr bläst, beginnt das Wasser aus e durch c nach b zu fließen und fließt dauernd fort, ohne daß man nöthig hätte, weiter zu blasen; das Rohr a bildet hier nämlich einen Heber, dessen Wirkungsweise wir bald näher betrachten werden. Der so zusammengestellte Apparat kann nicht als Ganzes bewegt oder frei aufgestellt werden; die Flaschen a und e müssen an den Rand des Tisches, b muß auf einige Holzklötzchen oder eine ähnliche Unterlage zu stehen kommen, weil das Zusammensetzen und Auseinandernehmen der Vorrichtung sonst Schwierigkeiten macht. Man füllt zuerst a und e, setzt die daraufpassenden Korke ein und stellt beide Flaschen so, daß die Glasröhren c und d nahe nebeneinander zu liegen kommen, dann schiebt man den auf b passenden Kork zunächst über die Röhre c, bis er an d ansteht, faßt dann c und d zugleich nahe über dem Kork mit der linken Hand, schiebt mit der rechten den Kork auch noch über d, setzt dann b an und bringt die bereit gelegten Klötzchen unter b, um dieses zu stützen; das Auseinandernehmen erfolgt natürlich in umgekehrter Ordnung.

Die Erklärung der Erscheinungen, bei welchen tropfbare und gasige Körper zusammenwirken, gestaltet sich meist ziemlich einfach, wenn wir uns daran erinnern, daß erstens in einer tropfbaren Flüssigkeit wegen des Gewichtes derselben von unten nach oben hin der Druck immer kleiner, von oben nach unten hin immer größer wird und in gleich hoch gelegenen Punkten gleich groß ist, daß zweitens an jedem bestimmten Punkte nach allen Richtungen hin gleicher Druck herrscht, weil die leichtbeweglichen Flüssigkeitstheilchen nach allen Seiten hin auszuweichen geneigt sind, und daß endlich in Luftarten von oben nach unten auch eine Zunahme des Druckes stattfindet, daß diese Zunahme aber nur gering ist, wenn es sich nicht um sehr große Höhenunterschiede handelt, weil die Luftarten ein so geringes spec. Gew. haben, daß Schichten von einigen Centimetern und selbst von einigen Metern nicht viel wiegen, so daß man also an Punkten, deren Höhe nicht sehr verschieden ist, den Luftdruck als gleich groß ansehen kann, ohne daß man einen merklichen Fehler begeht.

Fig. 171.



¼ nat. Gr.

Ein zweimal rechtwinkelig gebogenes, beiderseits offenes Glasrohr a b c d, Fig. 171, sei mit Wasser gefüllt und mit seinem längeren Schenkel so tief in das Wasser eines größeren Gefäßes getaucht, daß sich die Mündung d genau in gleicher Höhe mit dem Wasserspiegel bei a befindet. Die Luft

drückt mit bedeutender Kraft auf diesen Wasserspiegel, im Wasser nimmt der Druck nach unten noch zu, so daß an dem unteren Ende des eingetauchten Rohres ein etwas größerer Druck herrscht und das Wasser dort in das Rohr hineinzutreiben sucht. Gehen wir mit dem Rohre aufwärts, so werden wir wieder eine Abnahme des Drucks finden und in der Höhe von a ist der Druck innen genau so groß, als der äußere Luftdruck auf den Wasserspiegel. Noch weiter aufwärts wird der Druck noch kleiner, von b bis c bleibt er gleich und von c nach d nimmt er wieder zu, so daß er bei d wieder gleich dem äußeren Luftdruck ist. Der Luftdruck und der Wasserdruck werden sich deshalb bei d im Gleichgewicht halten, es fließt da weder Wasser aus, noch dringt Luft in das Rohr ein. Hebt man das Rohr etwas in die Höhe, so daß d höher zu liegen kommt als a, so wird der Wasserdruck bei d kleiner, als der Luftdruck, der letztere bekommt das Uebergewicht, die Luft dringt ein und treibt das Wasser zurück; senkt man dagegen das Rohr etwas weiter ein, so daß d tiefer liegt als a, so wird der Wasserdruck bei d größer als der Luftdruck, das Wasser fließt deshalb bei b aus und zwar so lange, bis der Wasserspiegel im Gefäße wieder in gleiche Höhe mit d gekommen ist; der Luftdruck auf den Wasserspiegel treibt stets neues Wasser an Stelle des bei d ausgeflossenen in das Rohr.

Fig. 172.

1/100 nat. Gr.

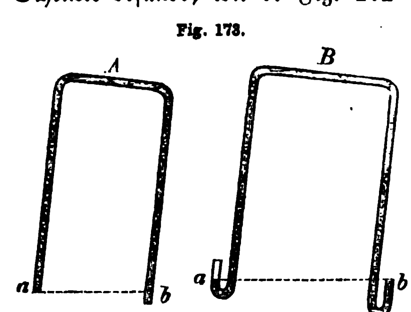
Man biegt ein etwa 4^{mm} weites, 25 bis 30^{cm} langes Rohr in die Fig. 171 gezeichnete Form und sorgt dafür, daß die beiden Enden recht schön gerade endigen. Man hält das Rohr zunächst in umgekehrter Lage, gießt durch den längeren Schenkel Wasser ein, bis der kürzere ganz gefüllt ist, verschließt diesen mit dem Finger und füllt auch den längeren Schenkel ganz an; noch bequemer läßt sich das Rohr füllen, wenn man es ganz in ein geräumiges Gefäß voll Wasser untertaucht. Indem man beide Oeffnungen des gefüllten Rohres mit den Fingern zuhält, wendet man dasselbe um, taucht den längeren Schenkel in das Gefäß, öffnet diesen und spannt in einem Retortenhalter das Rohr so ein, daß das äußere Ende etwas tiefer liegt, als der Flüssigkeitsspiegel; dann erst öffnet man auch dieses. Es läuft ein Wasserstrahl aus, der aber aufhört zu fließen, sobald a in gleiche Höhe mit d gekommen ist; ist die Oeffnung wagrecht und nicht zu weit, so bleibt das Wasser ruhig im Rohre stehen. Schiebt man das Rohr im Retortenhalter etwas tiefer, so beginnt sofort das Ausfließen wieder, bringt man aber d im Geringsten höher als a, so fließt das Wasser nach dem Gefäße zurück.

Anstatt das Glasrohr im gefüllten Zustande einzutauchen, kann man es auch leer in der gehörigen Stellung befestigen und dann durch Saugen mit dem Munde an der Oeffnung d den Luftdruck im Innern desselben soweit verringern, daß der äußere Druck das Rohr mit Wasser füllt; damit man mit dem Munde nach d gelangen kann, empfiehlt es sich, das Wassergefäß ganz an den Rand des Tisches zu stellen, so daß d über denselben hervorragt.

Ein wie Fig. 171 zweischenkelig gebogenes Rohr, welches dienen kann, eine Flüssigkeit über den Rand eines Gefäßes oder über eine andere, kleine Anhöhe hinwegzuschaffen, heißt ein Heber. Derselbe hat auch häufig eine etwas andere Form, nämlich die eines U oder V, die Schenkel können gleich oder verschieden lang sein. Soll ein Gefäß durch einen Heber ganz entleert werden, so muß sich der längere Schenkel außerhalb des Gefäßes befinden, denn nur so ist es möglich, daß bis zum letzten Augenblick die Oeffnung des äußeren Schenkels tiefer liegt, als der Flüssigkeitsspiegel im Gefäße. Jede Flüssigkeit läßt sich mittelst des Hebers nur über eine

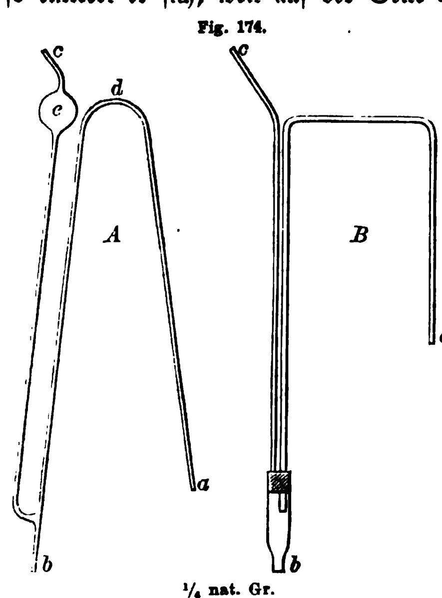
bestimmte Anhöhe hinwegbringen; bei Wasser darf z. B. der höchste Punkt des Hebers noch nicht ganz 10^m über dem Wasserspiegel liegen, weil sonst der auf diesen wirkende Luftdruck das Wasser nicht bis zu jenem obersten Punkte hinauf treiben kann. Ein über 10^m hoher Heber würde sich durch Saugen gar nicht ganz mit Wasser füllen lassen und hätte man ihn auf andere Weise gefüllt, so würde beim Oeffnen das Wasser nach beiden Seiten soweit ausfließen, daß sich nur noch eine 10^m hohe Wassersäule in jedem Schenkel befände, wie es Fig. 172 andeutet; man kann also Wasser mittelst des Hebers über einen Teichdamm, aber nicht über einen Berg hinwegbringen. Ein Heber, mit dem Quecksilber gehoben werden sollte, müßte weniger hoch sein, als die Quecksilbersäule, welche der Luftdruck zu tragen vermag, also weniger als 76^{cm}.

Fig. 173.



Wenn man einen fließenden Heber, dessen Schenkel genau gleich lang sind, sehr vorsichtig aus der Flüssigkeit heraushebt, so kann es gelingen, daß man denselben gefüllt behält, weil der Druck an den beiden, gleich hoch liegenden Oeffnungen sich wechselseitig im Gleichgewicht hält. Sobald man aber den Heber im geringsten zur Seite neigt, so entleert er sich, weil auf der Seite a, Fig. 173 A, welche etwas höher liegt, der Druck in der Flüssigkeit kleiner wird, als bei b und deshalb bei a Luft eindringt, anfangs langsam, dann aber immer schneller, weil mit dem Ausfließen des Wassers bei b die Wasserfläche bei a immer höher geht, also der Höhenunterschied der beiden Wasserflächen immer größer wird. Der sogenannte französische Heber, Fig. 173 B, ist von diesem Uebelstande frei; zieht man ihn im gefüllten Zustande aus der Flüssigkeit und hält ihn etwas schief, so fließt aus dem tieferen Ende b etwas aus, dabei steigt aber bei a die Flüssigkeit nicht, sondern sie fällt, bis sie mit der Oeffnung b in gleicher Höhe liegt; ein solcher Heber bleibt also immer zum Gebrauche bereit; sobald man ihn wieder in eine Flüssigkeit einsenkt, beginnt er wieder zu laufen.

Fig. 174.



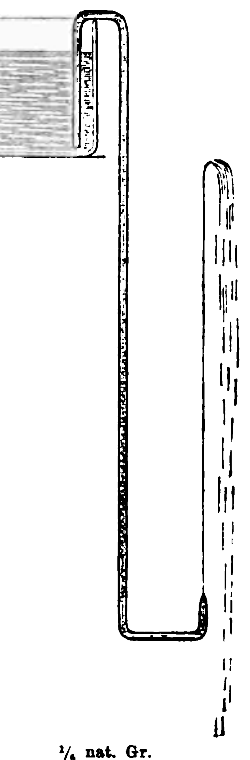
¼ nat. Gr.

Verwendet man einen Heber für trinkbare Flüssigkeiten, so setzt man ihn in der Regel durch Saugen mit dem Munde in Bewegung; für andere Flüssigkeiten verfährt man häufig so, daß man den Heber erst mit Wasser füllt, mit den Fingern verschließt, in die Flüssigkeit eintaucht und dann öffnet, doch geht dies nur an, wenn eine Vermischung der Flüssigkeit nicht schadet;

in solchem Falle verwendet man vielmehr den sogenannten Giftheber. Fig. 174 A zeigt einen solchen Giftheber, wie man ihn aus Glas fertig kauft; beim Gebrauche bringt man a in die Flüssigkeit, hält b mit dem Finger zu und saugt mit dem Munde bei c, bis die Flüssigkeit die beiden Schenkel a d und b d gefüllt hat, dann öffnet man bei b und die Flüssigkeit läuft da aus. Die Kugel c dient, um zu verhindern, daß man zu leicht etwas von der Flüssigkeit in den Mund bekommt, wenn man bei c zu stark saugt.

Fig. 174 B ist ein Giftheber, den man leicht selbst herstellt aus drei Glasröhren, von denen eine so weit ist, daß man die beiden anderen mittelst eines kleinen Korkes hineinsetzen kann, den man zweckmäßig noch mit Siegellack verkittet. Den unteren Theil b der weiten Glasröhre verengt man womöglich etwas durch Ausziehen, so daß man ein kurzes Stückchen Kautschukschlauch darüber schieben kann, wenn man mit Flüssigkeiten zu thun hat, die man nicht mit dem Finger berühren mag; man verschließt dann b solange als nöthig dadurch, daß man diesen Schlauch von außen mit den Fingern zusammendrückt.

Fig. 175.

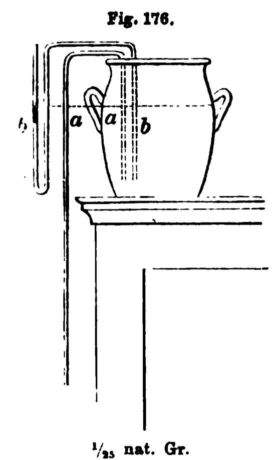


¹/₆ nat. Gr.

Als einfachen Heber benutzt man häufig einen hinlänglich langen Kautschukschlauch, der die Bequemlichkeit bietet, sich leicht in jede gewünschte Form biegen zu lassen; derselbe darf nur nicht zu dünnwandig sein, weil er sonst bei einer etwas kurzen Biegung zusammenknickt oder an den höherliegenden Punkten von der Luft zusammengedrückt wird, weil der Flüssigkeitsdruck im oberen Theile des Hebers immer kleiner ist, als der Atmosphärendruck.

Die Verwendung des Hebers ist eine sehr mannichfache, sowol im praktischen Leben, als bei physikalischen Versuchen. Zum Entleeren großer, flacher oder sehr weit gefüllter Gefäße empfiehlt sich sein Gebrauch immer, wenn man nichts verschütten will. Ein Springbrunnen läßt sich am leichtesten herstellen, wenn man eine Glasröhre, welche einerseits zu einer Spitze ausgezogen ist, viermal rechtwinkelig biegt und sie als Heber in ein Wassergefäß hängt, Fig. 175.

Fig. 176.



¹/₂₅ nat. Gr.

Gestatten es Raum und Mittel, so richte man sich einen großen Topf mit einigen Glas- und Kautschukröhren zu einer kleinen Wasserleitung ein, die zum Springbrunnen benutzt werden kann und zu manchen anderen Versuchen noch dient. Den Topf stellt man auf einen möglichst hohen Schrank (Fig. 176), wenn man sich nicht in ziemlicher Höhe an der Wand ein eigenes Consol dafür will machen lassen; eine zweimal rechtwinkelig gebogene Röhre a a dient als Heber; an das längere Ende derselben steckt man einen starken Kautschukschlauch von womöglich einigen Metern Länge und bindet denselben durch einige straffe Umwindungen von Bindfaden fest. Damit man den Heber immer gefüllt lassen kann, setzt man an das andere Ende des Schlauches einen messingnen Hahn, welcher auf beiden Seiten zum Anstecken von Kautschukschlauch eingerichtet ist oder verschließt dieses Ende allenfalls

auch nur durch einen großen, recht kräftigen Quetschhahn. Da man zum Füllen eines solchen hochstehenden Topfes eine Treppenleiter zu Hülfe nehmen muß, und da man womöglich das Wasser im Topfe nicht ganz alle werden läßt, weil man einen solchen größeren Heber nach dem Aussaugen immer einige Zeit muß fließen lassen, damit alle Luftblasen herausgeführt werden, so empfiehlt es sich, ein Wasserstandsrohr b b anzubringen, damit man jederzeit bequem sieht, wie viel Wasser noch im Gefäße ist. Ein solches Wasserstandsrohr ist einfach ein Heber, dessen äußerer Schenkel wieder aufwärts gebogen ist, das Wasser steht darin immer gleich hoch mit dem Niveau im Topfe, wenn man dafür Sorge getragen hat, keine Luftblasen im oberen, gebogenen Theile zu lassen. Um den Stand des Wassers im Rohre von unten bequem erkennen zu können, läßt man darin ein kleines walzenförmig geschnittenes Stückchen einer Stearinkerze schwimmen, welches weiß bleibt, wenn der Hintergrund (die Wand) dunkel ist; ist die Wand hell, so reibt man das Stearinstückchen mit etwas gepulvertem Graphit (zerriebene Bleistiftmasse) ein, um es schwarz zu färben. Der Schwimmer sinkt im Wasser fast ganz ein, aber nicht unter, er muß natürlich so dünn sein, daß er ohne alle Reibung in der Glasröhre gleiten kann.

Fig. 177.

$^1/_{10}$ nat. Gr.

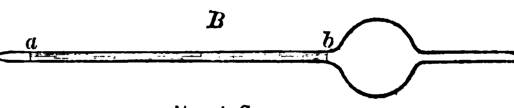
Die schon früher benutzte **Pipette** (Fig. 11) und der seinem Wesen nach damit ganz gleiche **Stechheber der Küfer**, Fig. 177, danken ihre Wirksamkeit ebenfalls dem Luftdruck.

Macht man durch Saugen mit dem Munde den im Inneren herrschenden Luftdruck kleiner, als den Atmosphärendruck, nachdem man die Spitze in eine Flüssigkeit getaucht hat, so steigt diese, durch den überwiegenden äußeren Druck getrieben, in dem Stechheber auf und kann nicht wieder ausfließen, solange man die obere Oeffnung mit dem Finger verschlossen hält, daß da keine Luft eintreten kann. Anstatt durch Saugen kann man den Stechheber auch dadurch füllen, daß man ihn (während das obere Loch offen ist) fast ganz in die Flüssigkeit eintaucht; verschließt man dann die obere Oeffnung, so kann man ihn gefüllt aus der Flüssigkeit herausziehen. Bei diesem Verfahren hat zunächst die Luft über der Flüssigkeit im Stechheber denselben Druck, wie die äußere Luft, mit der sie in Verbindung steht; zieht man dann das Instrument in die Höhe, nachdem man oben mit dem Finger verschlossen hat, so dehnt sich diese innere Luft etwas aus, bis ihr Druck soviel kleiner geworden ist, als der äußere, daß der Ueberschuß des letzteren die Flüssigkeit zu tragen vermag.

Fig. 178.

c, b, a, A

Mittelst einer nicht zu kleinen Pipette kann man leicht zeigen, daß in derselben die Flüssigkeitssäule die Luft etwas ausdehnt, wenn man nur das untere Rohr mit Wasser füllt, so daß die ganze Kugel mit Luft gefüllt bleibt und also ein beträchtliches Luftvolumen in's Spiel kommt. Nehmen wir an, daß man eine Pipette, theilweise mit Wasser gefüllt und dann so weit habe auslaufen lassen, daß die Wassersäule a b (Fig. 178 A) eine Höhe von 20^{cm} besitzt. Bei a halten sich der Druck der Atmosphäre, welcher gleich dem Druck einer



$^1/_5$ nat. Gr.

10^m hohen Wassersäule sein soll, und der Druck des Wassers das Gleichgewicht; da nun in der Wassersäule der Druck von unten nach oben hin abnimmt, so kann er bei b nur gleich $10^m - 20^{cm} = 9^m,8$ sein und so groß ist somit auch der Druck der Luft in der Pipette; das Volumen dieser Luft sei 50^{cc}. Wendet man nun, ohne

bei c Luft einzulassen, die Pipette so, daß sie horizontal zu liegen kommt, Fig. 178 B, so kommen auch die beiden Enden der Wassersäule in gleiche Höhe, so daß an beiden gleicher Druck herrschen muß; da aber an dem einen (vorher unteren) Ende der Atmosphärendruck wirkt, so muß auch am anderen (vorher oberen) Ende und in der damit in Berührung stehenden Kugel der Druck gleich dem Atmosphärendruck, also gleich 10^m Wassersäule sein. Nach dem Mariotte'schen Gesetz nimmt aber, wenn der Druck im Verhältniß von 9,8 zu 10 wächst, das Volumen im umgekehrten Verhältniß, d. i. im Verhältniß von 10 zu 9,8 ab und da das anfängliche Luftvolumen 50^{cc} betrug, so erhält man das jetzige nach der Proportion

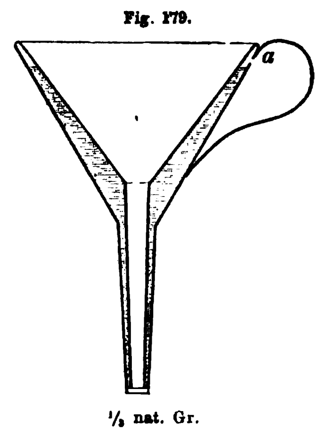
$$10^m : 9^m,8 = 50^{cc} : x^{cc}$$

also $x = \frac{50 \cdot 9,8}{10} = 49^{cc}$. Das Luftvolumen nimmt also um 1^{cc} ab, deshalb muß die Wassersäule a b, wie es Figur 178 B zeigt, etwas nach der Kugel zu rücken; richtet man die Pipette wieder senkrecht, so nimmt der Druck in der eingeschlossenen Luft wieder ab, diese dehnt sich aus und die Wassersäule begiebt sich an ihren früheren Ort.

Bei Ausführung dieses Versuches vermeide man, die Kugeln der Pipette mit den Fingern zu berühren und fasse nur die (dickwandigere) Röhre an, sonst kann leicht die Luft in der Kugel durch die Wärme der Finger ausgedehnt und dadurch die Erscheinung verändert werden.

Ein bekanntes Spielzeug, der Zaubertrichter, ist nichts, als ein versteckter Stechheber; Fig. 179 zeigt den Durchschnitt desselben. Zwei blecherne Trichter stecken einer im anderen und sind oben rund herum zusammengelöthet, das Rohr des Inneren ist etwas enger, als das des äußeren, so daß unten zwischen beiden eine schmale, ringförmige Oeffnung bleibt; außerdem ragt das äußere Rohr 1 bis 2^{mm} über das innere vor. Ein kleines, rundes Loch a ist in der Wandung des äußeren Trichters nahe dem oberen Rande unter dem Henkel so angebracht, daß man dasselbe leicht und unbemerkt verschließen kann, indem man einen Finger der Hand, mit welcher man den Henkel faßt, dagegen drückt.

Fig. 179.



$\frac{1}{4}$ nat. Gr.

Hält man den Trichter am Rohre mit der linken Hand so, daß man zugleich die untere Oeffnung verschließt und gießt ihn voll Flüssigkeit, so dringt diese durch die schmale, ringförmige Oeffnung auch in den Zwischenraum zwischen beiden Trichtern und steigt darin nach dem Gesetz der communicirenden Röhren ebenso hoch, wie sie im inneren Trichter steht. Faßt man nun mit der rechten Hand den Henkel, verschließt dabei die Oeffnung a und läßt die untere Trichteröffnung frei, so entleert sich nur der innere Trichter, der Zwischenraum dagegen bleibt wie ein Stechheber gefüllt und läuft erst aus, wenn man a durch Wegnahme des Fingers öffnet.

Da bei flüchtigem Ansehen der Zaubertrichter für einen gewöhnlichen Trichter gehalten werden kann, so läßt er sich zu Täuschungen benutzen, wenn man ungesehen den Zwischenraum mit einer farbigen Flüssigkeit füllt, etwa mit Himbeersaft. Damit nicht die innen am Trichter adhärirende Flüssigkeit durch ihre Farbe die Täuschung verräth, gießt man einmal Wasser durch denselben, ehe man ihn zeigt; nachher gießt man oben Wasser ein, während man durch geringes Oeffnen von a zugleich den Saft ausfließen läßt, der das unten herauskommende Wasser in Limonade verwandelt.

Wäre die untere Oeffnung einer Pipette sehr weit, so würde dieselbe auslaufen, weil Luft und Wasser nebeneinander vorbeigehen können; das Auslaufen ist aber unmöglich, solange die Oeffnung unter Wasser ist, weil dann keine Luft eintreten kann. In ähnlicher Weise bleibt jedes Gefäß mit Flüssigkeit gefüllt, wenn man es mit der Oeffnung nach unten in dieselbe Flüssigkeit eintaucht; sinkt der Spiegel dieser Flüssigkeit bis unter die Oeffnung des Gefäßes, so dringt Luft ein und es läuft soviel Flüssigkeit aus, daß die Oeffnung wieder abgesperrt wird. Eine umgestürzte, gefüllte Flasche (Sturzflasche) kann man benutzen, um in einem Gefäße, aus welchem langsam Flüssigkeit entfernt wird, das Niveau auf gleicher Höhe zu halten.

Hat man z. B. eine Flüssigkeit durch ein Filter von Fließpapier zu filtriren und will, um die Arbeit möglichst schnell zu beendigen, das Filter stets voll halten, ohne dabei das immerwährende Nachgießen selbst besorgen zu müssen, so stürzt man einen Glaskolben, in den man die Flüssigkeit gebracht hat, um, indem man seine Oeffnung mit dem Finger oder, wenn er zu groß ist, mit einem kreisrunden Papierstück bedeckt

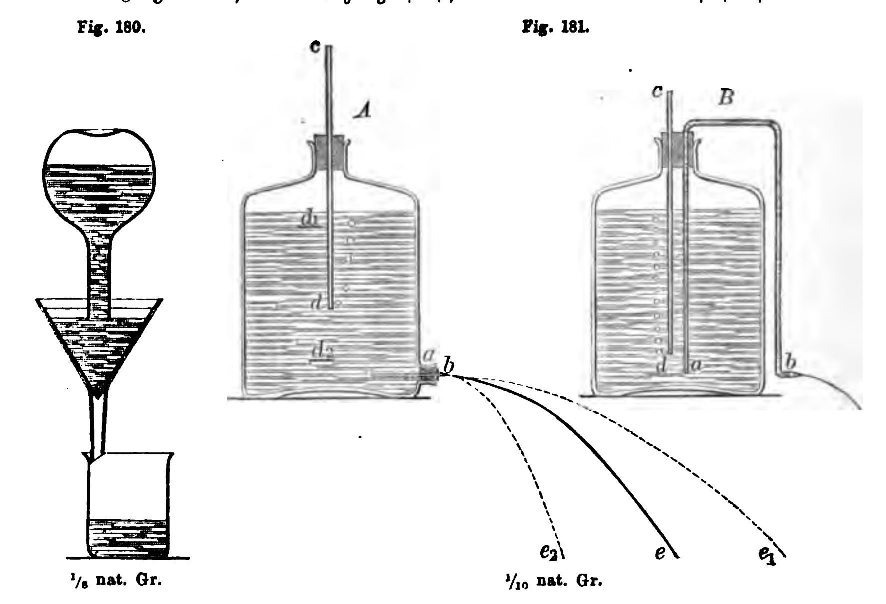


Fig. 180. $^1/_8$ nat. Gr.

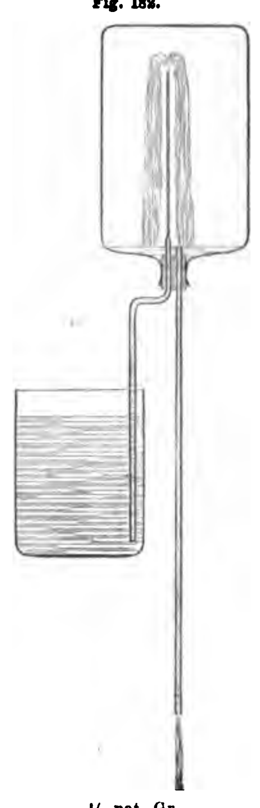
Fig. 181. $^1/_{10}$ nat. Gr.

und spannt ihn dann so in einen Halter ein, daß die Oeffnung einige Millimeter tiefer liegt, als der Rand des Papierfilters, das in einem an einem zweiten Arme desselben Halters befestigten Trichter liegt; entfernt man nun den Finger oder das Papier, so füllt sich das Filter bis zur Höhe der Kolbenmündung und so oft die Flüssigkeit unter diese Höhe sinkt, tritt Luft in den Kolben und neue Flüssigkeit aus. Fig. 180 zeigt die Vorrichtung mit Weglassung des Halters, welcher Trichter und Sturzflasche trägt. In ganz gleicher Weise dient eine (blecherne) Sturzflasche bei den Oellampen mit Argandbrenner, um das Oelgefäß immer gleich hoch voll Oel zu halten.

Beiläufig sei hier noch bemerkt, daß man die Filter, welche zum Klären von trüben Flüssigkeiten dienen, aus Fließpapier kreisförmig schneidet und sie dann vierfach zusammenfaltet; beim Einlegen in einen Glastrichter biegt man sie so auseinander, daß das Papier auf einer Seite einfach, auf der anderen dreifach liegt; ein guter Trichter soll so gestaltet sein, daß ein derart gebrochenes Filter sich rund herum glatt an die Wand anlegt.

Die Mariotte'sche Flasche, Fig. 181 A, ist eine Flasche mit seitlichem Tubulus a zum Einsetzen einer Ausflußröhre b; durch einen Kork im Hals der Flasche geht ein Glasrohr c d luftdicht, aber hinlänglich leicht, um sich bequem auf- und niederschieben zu lassen. Liegt die untere Oeffnung d dieses Rohres, wie in der Figur angenommen ist, höher als die Mündung der Ausflußröhre b, so läuft aus dieser Flüssigkeit, während durch c d Luft eintritt. Bei d, wo die Luft mit der Flüssigkeit in Berührung ist, muß der Druck gleich dem äußeren Luftdruck sein, von d aufwärts in der Flasche nimmt der Druck natürlich ab, von d abwärts nimmt er zu und ist bei b um die senkrechte Höhe der Flüssigkeitssäule d b größer als der äußere Luftdruck; dieser Drucküberschuß treibt die Flüssigkeit aus b heraus und dieselbe wird also gerade so geschwind auslaufen, als ob die Flasche nur bis d gefüllt wäre. Während aus einem gewöhnlichen Gefäße mit seitlicher Mündung eine Flüssigkeit mit fortwährend abnehmender Geschwindigkeit ausläuft, bietet die Mariotte'sche Flasche ein Mittel, eine Flüssigkeit längere Zeit hindurch mit gleichbleibender Geschwindigkeit ausfließen zu lassen; solange die Flüssigkeit nicht unter die Oeffnung d sinkt, bleibt der Druck, welcher sie heraustreibt, gleich und durch Verschieben der Röhre c d läßt sich dieser Druck beliebig regeln. In Fig. 181 A ist b e der Strahl, wie er für die gezeichnete Stellung des Rohres c d ausfließt, b e_1 und b e_2 geben die Form des Strahles für den Fall, daß sich das untere Ende von c d bei d_1 oder bei d_2 befindet.

Fig. 182.



$^1/_5$ nat. Gr.

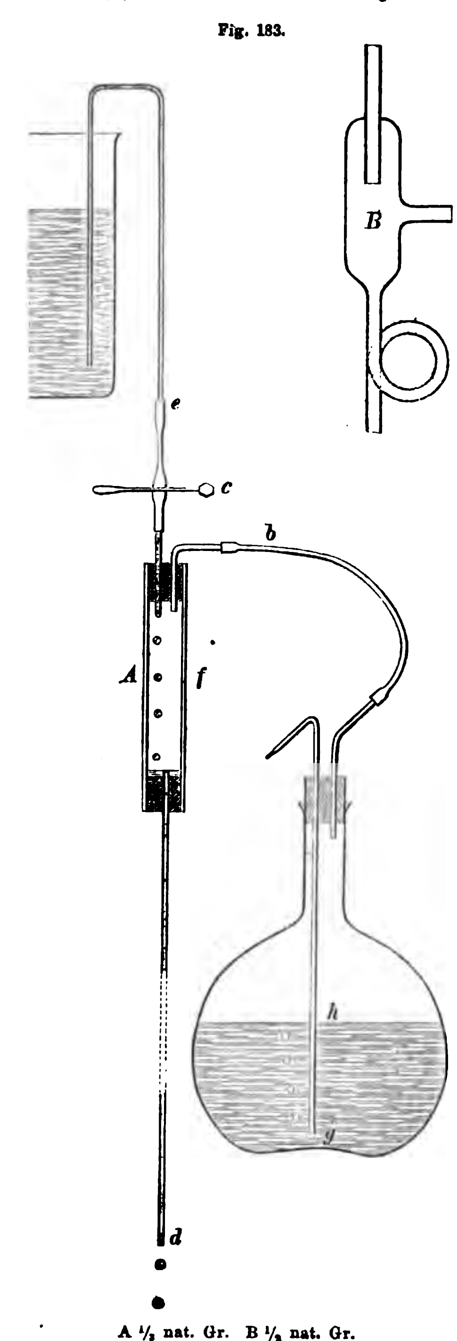
Schiebt man c d soweit abwärts, daß d in gleiche Höhe mit b kommt, so ist der Druck bei b und d gleich und die Flasche läuft gar nicht mehr.

Aus einer gewöhnlichen Flasche (ohne Tubulus) kann man eine Mariotte'sche Flasche herstellen, wenn man dieselbe entweder in der früher besprochenen Weise anbohrt oder man als Ausflußrohr einen Heber benutzt, der mit durch den Hals der Flasche hineinragt, wie Fig. 181 B zeigt.

Eine Luftmasse, welche, wie die in der Mariotte'schen Flasche, von der äußeren Luft durch Wasser so abgesperrt ist, daß die mit der abgesperrten Luft in Berührung befindliche Wasserfläche höher liegt, als die Stelle, wo das Wasser mit der äußeren Luft zusammentrifft, muß sich immer unter etwas kleinerem Drucke befinden, als die äußere Luft, d. h. mit anderen Worten: sie muß etwas verdünnt sein, weil, wie wir früher gesehen haben, die Luft mit abnehmendem Drucke sich ausdehnt. Durch den Ueberschuß des äußeren Luftdrucks kann man in einen solchen Raum einen Wasserstrahl oder einen Luftstrom hineintreiben. Durch den gut schließenden Kork einer geräumigen Flasche, Fig. 182, gehen zwei Glasröhren, deren eine, längere gerad ist, während die andere zweimal rechtwinkelig gebogen und an dem in die Flasche mündenden Ende zu einer Spitze ausgezogen ist. In der aus der Figur ersichtlichen Weise wird die Vorrichtung in ein Glas mit Wasser gesetzt (indem man den Hals der umgekehrten Flasche im Retorten-

halter festklemmt) und wie ein Heber mit dem Munde angesaugt. Sobald die Luft in der Flasche genügend verdünnt ist, springt im Inneren derselben das Wasser als schöner Strahl in die Höhe, um dann durch die gerade Röhre abzulaufen. An der Oberfläche des Wassers in dem offenen Glase und an der unteren Mündung der geraden Röhre besteht der äußere Luftdruck; in den beiden Röhren aufwärts wird der Druck kleiner, weil die Wassersäulen dem äußeren Luftdruck entgegenwirken; da die senkrechte Höhe des geraden Rohres größer ist, als die des gebogenen, so nimmt der Druck in ersterer mehr ab, als in letzterer, d. h. am oberen Ende des gebogenen Rohres ist der Druck etwas größer, als an dem des geraden. Die abgesperrte Luft ist hier mit zwei Wasserflächen von verschiedenem Druck in Berührung; ihr Druck kann natürlich nicht mit beiden zu gleicher Zeit gleich sein, er ist etwas größer, als der im geraden und etwas kleiner, als der im gebogenen Rohr, deshalb wird das Wasser aus letzterem in die Flasche hinein und aus dieser in das gerade Rohr fließen. Man bezeichnet diese Vorrichtung als unterbrochenen Heber.

Fig. 183.



A ⅓ nat. Gr. B ½ nat. Gr.

Damit ein ordentlich springender Strahl zu Stande kommt, muß die Oeffnung der Spitze ziemlich viel kleiner sein, als die Weite des geraden Rohres. Dann richtet sich nämlich der Druck der abgesperrten Luft mehr nach dem am oberen Ende im geraden Rohre herrschenden, als nach dem in der Spitze, d. h. er wird beträchtlich kleiner als dieser, so daß das Wasser kräftig in die Luft hineinspritzt. Beim Aussaugen des Apparates geschieht es leicht, daß man die Luft in der Flasche zu sehr verdünnt; hört man dann auf zu saugen, so wird durch den äußeren Luftdruck das Wasser im geraden Rohre in die Höhe getrieben; um dies zu vermeiden, hält man, noch ehe man mit dem Munde weggeht, das Ende des Rohres mit dem Finger zu und nimmt diesen erst weg, wenn der Strahl erst aufhört zu springen; nach dem Fortnehmen des Fingers wird

der Strahl bald wieder eine größere Höhe erreichen. Nöthig ist es, den Wasserstand im offenen Glase durch zeitweiliges Nachgießen nahezu unverändert zu halten.

Dem unterbrochenen Heber in der Wirkungsweise ähnlich, wenn auch in der Form von ihm verschieden, ist der Aeolus, den man zur Hervorbringung eines schwachen Luftstromes zweckmäßig benutzen kann. (Eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Luftstromes heißt im Allgemeinen Aspirator.) Ein kurzes Stück eines weiten Glasrohres, Fig. 183 A, ist an beiden Enden mit (nöthigenfalls eingekitteten) Korken versehen, deren oberer doppelt, deren unterer einfach durchbohrt ist. Durch alle drei Bohrungen gehen Glasröhren von der aus der Figur ersichtlichen Form, die untere derselben macht man 40 bis 80^{cm} lang. Die beiden oberen Glasröhren sind mit kurzen Stücken von Kautschukschlauch versehen, von denen der eine durch einen Schraubenquetschhahn (s. unten) beliebig stark zusammengedrückt werden kann, um die Stärke des Wasserstrahles, welcher einfließen soll, reguliren zu können. An das obere Ende dieses Schlauches setzt man einen gewöhnlichen Heber, wie in der Figur oder, wenn man eine Wasserleitung hat, ein mit dieser verbundenes Glasrohr; durch den anderen Schlauch soll die Luft eintreten und dieser wird mit dem Apparate verbunden, durch den der Luftstrom hindurchgesaugt werden soll; will man nur zeigen, daß ein Luftstrom zu Stande kommt, so kann man diesen Schlauch mit dem Blasrohr einer Spritzflasche verbinden, wie in der Figur angedeutet ist. Man hält zunächst den Schlauch b mit den Fingern zu, öffnet den Quetschhahn c und saugt bei d mit dem Munde, bis da Wasser ausfließt; ist e mit einer Wasserleitung verbunden, so braucht man natürlich nicht erst zu saugen. Fließt durch den Quetschhahn soviel Wasser zu, als durch d abfließen kann, so wird die Luft in f nicht verdünnt und man kann b öffnen, ohne daß sich etwas ändert; wird nun aber e durch den Quetschhahn verengt, so wird der Luftdruck in f in ähnlicher Weise verkleinert, wie in der Flasche des unterbrochenen Hebers und es strömt durch b Luft zu, selbst wenn dieselbe erst noch einen Widerstand überwinden muß, wie es der Druck der Wasserhöhe g h in der Spritzflasche ist. Die zuströmende Luft mengt sich dem ausfließenden Wasser bei und wird von diesem durch d mit fortgeführt.

Fig. 184.

a. P. nat. Gr.

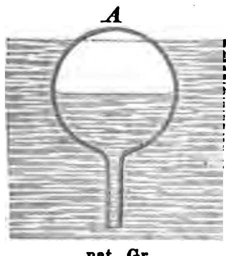
Soll der Aeolus auch brauchbar sein, um einen ganz schwachen Luftstrom zu erzeugen, indem man durch e das Wasser nur tropfenweise zufließen läßt, so muß das Rohr d nahe unter dem Kork zu einer Schleife gebogen werden, wie sie sich an dem Aeolus B findet, welcher die Form zeigt, die man ganz aus Glas käuflich erhält. Diese Schleife zwingt das Wasser, sich immer so weit anzusammeln, daß es den Querschnitt der Röhre ausfüllt; ohne diese Schleife rinnt es bei ganz schwachem Zufluß an den Röhrenwandungen herunter, ohne Luft mitzunehmen.

Zu einem Schraubenquetschhahn, Fig. 184, nimmt man ein 16 bis 18^{cm} langes Stück von starkem Messingdraht, klopft dasselbe an einem Ende mit dem Hammer breit und schlägt, nachdem man das durch das Hämmern hart gewordene Ende in der Lampe erhitzt hat, um es wieder weich zu machen, mit einem kleinen Locheisen eine Vertiefung hinein (aber nicht ganz durch), in welche sich das Ende der Schraube stemmen soll. Das andere Ende des Drahtes biegt man zu einem Ringe von etwa 4^{mm} Weite und löthet darauf ein rundes Messingblechstückchen von 8 bis 10^{mm} Durchmesser und 2 bis 3^{mm} Dicke. Dieses Plättchen wird in der Mitte durchbohrt und mit dem

feinsten Gewinde versehen, welches zur Schneidkluppe gehört. Hierauf biegt man den Draht in die gehörige Form und hämmert den Ring a flach und federnd. (Damit man beim Löthen und beim Ausglühen des einen Endes nicht den ganzen Draht weich macht, umwickelt man zweckmäßig die nicht mit zu erhitzenden Theile mit einem feuchten Lappen). Die Schraube stellt man aus einem kurzen Stückchen 4^{mm} dicken Messingdrahtes dar, den man mit einem Ende in ein Stückchen dickes Messingblech einlöthet, das man sechs- oder achteckig zufeilt. Dieses Einlöthen geschieht am besten nach dem Gewindeschneiden, weil man dabei sonst den Draht leicht wieder herausreißen würde; man läßt den Draht erst etwas zu lang, schraubt ihn durch das ebenfalls mit Gewinde versehene Blechstückchen und nimmt sehr wenig Loth, damit dieses nicht in das vorstehende Gewinde läuft; nach dem Löthen entfernt man das einerseits über das Griffplättchen hervorstehende Drahtstück.

Fig. 185.

A



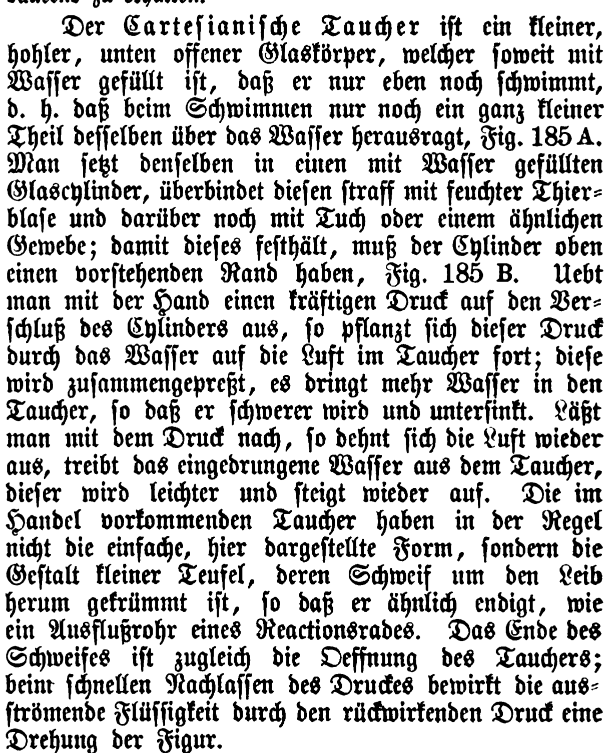
nat. Gr.

B



1/4 nat. Gr.

Dreht man die Schraube vorwärts, so öffnet sie den Quetschhahn; sie gestattet, denselben in jeder beliebigen Weite dauernd zu erhalten.



Der **Cartesianische Taucher** ist ein kleiner, hohler, unten offener Glaskörper, welcher soweit mit Wasser gefüllt ist, daß er nur eben noch schwimmt, d. h. daß beim Schwimmen nur noch ein ganz kleiner Theil desselben über das Wasser herausragt, Fig. 185 A. Man setzt denselben in einen mit Wasser gefüllten Glascylinder, überbindet diesen straff mit feuchter Thierblase und darüber noch mit Tuch oder einem ähnlichen Gewebe; damit dieses festhält, muß der Cylinder oben einen vorstehenden Rand haben, Fig. 185 B. Uebt man mit der Hand einen kräftigen Druck auf den Verschluß des Cylinders aus, so pflanzt sich dieser Druck durch das Wasser auf die Luft im Taucher fort; diese wird zusammengepreßt, es dringt mehr Wasser in den Taucher, so daß er schwerer wird und untersinkt. Läßt man mit dem Druck nach, so dehnt sich die Luft wieder aus, treibt das eingedrungene Wasser aus dem Taucher, dieser wird leichter und steigt wieder auf. Die im Handel vorkommenden Taucher haben in der Regel nicht die einfache, hier dargestellte Form, sondern die Gestalt kleiner Teufel, deren Schweif um den Leib herum gekrümmt ist, so daß er ähnlich endigt, wie ein Ausflußrohr eines Reactionsrades. Das Ende des Schweifes ist zugleich die Oeffnung des Tauchers; beim schnellen Nachlassen des Druckes bewirkt die ausströmende Flüssigkeit durch den rückwirkenden Druck eine Drehung der Figur.

Um die nöthige Wassermenge in den Taucher zu bringen erwärmt man ihn vorsichtig ein wenig über der Lampe und taucht ihn dann ins Wasser. (Das dünnwandige Glas, woraus diese Figuren bestehen, verträgt eine ziemlich rasche Abkühlung, ohne zu springen.) Beim Erwärmen dehnt sich die Luft im Inneren aus, so daß ein Theil davon entweicht; beim Abkühlen im Wasser zieht sich der zurückgebliebene Theil wieder zusammen und an die Stelle der entfernten Luft tritt Wasser. Selten bringt man auf einmal genug Wasser hinein, man wiederholt dann das Verfahren mit der Vorsicht, die Figur beim Erwärmen so zu halten, daß die Mündung des Schweifes (oder des Röhrchens) oberhalb des im Innern befindlichen Wassers zu liegen kommt, damit nicht Wasser, sondern Luft entweicht; ist die Figur zu schwer geworden, so treibt

man durch Erwärmen in anderer Stellung Wasser aus oder saugt ein wenig mit dem Munde aus.

Beim Nachlassen des mit der Hand ausgeübten Druckes dehnt sich die Luft im Cartesianischen Taucher wieder aus, aber nicht gleich ganz genau auf ihr früheres Volumen. Solange der Taucher noch am Boden des Cylinders ist, hat er, auch nach der Wegnahme der Hand, wegen der darüber stehenden Wassersäule einen etwas größeren Druck auszuhalten, als den, welchen er beim Schwimmen an der Oberfläche hatte; das Luftvolumen erlangt deshalb seine ursprüngliche Größe erst dann, wenn der Taucher wieder oben angelangt ist.

Bei einem recht großen Taucher kann man es durch genaues Abgleichen seines Gewichtes dahin bringen, daß der Druck der Wassersäule allein ausreicht, soviel Wasser in denselben hineinzutreiben, daß er schwerer wird, als das von ihm verdrängte Wasser. Einen solchen Taucher setzt man in ein recht hohes Glas mit Wasser, etwa ein großes Einmachglas (allenfalls auch eine Wasserkanne), das Gefäß bleibt offen. So lange man den Taucher sich selbst überläßt, bleibt er oben, stößt man ihn mit dem Finger abwärts, so sinkt er zu Boden und bleibt unten, zieht man ihn (etwa mit einem Drahthaken) wieder an die Oberfläche, so schwimmt er wieder u. s. f.

Einen Taucher zu diesem Versuche macht man aus einem Medicinglas von etwa 4cm Weite und 8 cm Höhe. Da es für den vorliegenden Zweck wünschenswerth ist, ein recht großes Luftvolumen im Innern zu behalten, damit eine geringe Druckzunahme eine möglichst große Zusammendrückung bewirkt, so gleicht man das Gewicht nicht durch Hineinlassen von Wasser in das Glas ab, sondern man umwickelt den Hals des Glases mit so viel dickem Bleidraht, daß dasselbe nur eben noch schwimmt, dadurch bewirkt man zugleich, daß die Oeffnung nach unten gezogen wird.

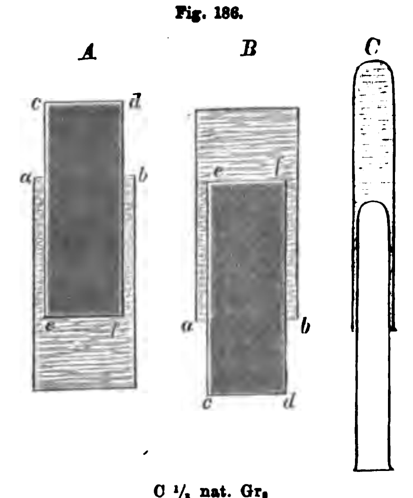


Fig. 186.
C ⅓ nat. Gr.

In Fig. 186 A sei c d e f ein schwimmender Körper, welcher sich in einem nur wenig größeren Gefäße befindet. Wie wir von früher wissen, ist beim Schwimmen das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich dem Gewichte des schwimmenden Körpers oder es ist mit anderen Worten der Druck der Flüssigkeit auf die Fläche e f so groß, daß er gerade dem Gewichte des Körpers das Gleichgewicht hält. Wollen wir streng zu Werke gehen, so müssen wir nun berücksichtigen, daß auch die Atmosphäre einen Druck ausübt, und zwar sowol auf die Fläche c d des schwimmenden Körpers, als auch auf die schmale, ringförmige Flüssigkeitsoberfläche a b. (Von dem Druck auf die Seitenflächen des Körpers dürfen wir absehen, weil dieser immer von zwei gegenüberliegenden Seiten her gleich ist und sich somit aufhebt.) Der Druck auf die Ringfläche a b pflanzt sich in der Flüssigkeit fort und nimmt infolge des Gewichtes der Flüssigkeit noch zu, so daß der Druck auf die Fläche e f um das Gewicht des schwimmenden Körpers größer ist, als der Druck auf die Fläche c d. Denken wir

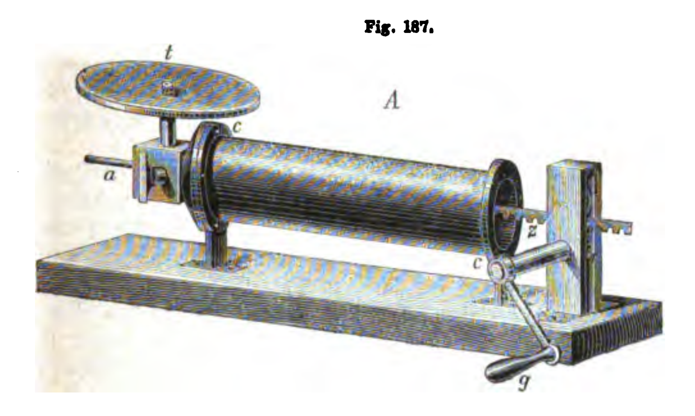
uns nun bei unveränderter Stellung der einzelnen Theile gegeneinander das Ganze in die umgekehrte Lage gebracht, Fig. 186 B, so bleibt der Druck auf die Flächen a b und c d ungeändert; weil aber e f jetzt höher liegt, als a b, der Druck der Flüssigkeit also von a b nach e f hin abnimmt, so ist der Druck auf e f jetzt kleiner als der auf c d und zwar gerade um soviel, als er erst größer war; das heißt der Luftdruck auf die Fläche c d ist jetzt um das Gewicht des Körpers größer, als der Flüssigkeitsdruck auf e f und dieser Ueberschuß des Luftdrucks hält den Körper schwebend. Schiebt man jetzt den Körper c d e f etwas weiter in das Gefäß hinauf, so daß er etwas Flüssigkeit herausdrängt, so kommt die Fläche e f noch höher über a b zu liegen, der Druck auf e f nimmt noch weiter ab, während der auf a b unverändert bleibt; es wird also der Ueberschuß dieses letzteren über den ersteren größer, als das Gewicht des Körpers und dieser wird in die Höhe gehoben, während zugleich Flüssigkeit aus dem Gefäße ausläuft.

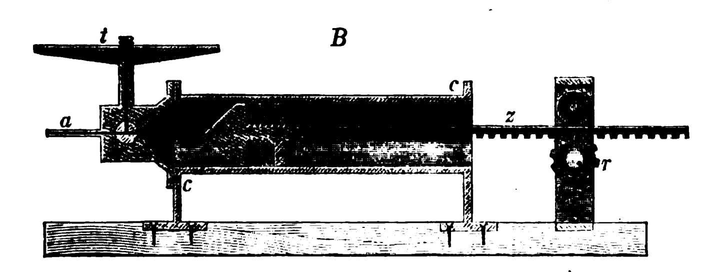
Zu diesem interessanten Versuche braucht man zwei Probirgläser, von denen das kleinere, etwa 1^{cm} weite ziemlich knapp, oder ohne Reibung in das größere hineinpaßt, es soll äußerlich etwa $0^{cm},5$ weniger Durchmesser haben, als das größere innen. Man füllt das größere Glas in aufrechter Stellung mit Wasser, setzt das kleinere hinein und wartet ruhig, bis dasselbe nicht mehr tiefer sinkt; dabei hält man einen Finger lose an den Rand des größeren Glases, um das Ablaufen des herausgedrängten Wassers zu erleichtern. Hat das kleine Glas eine feste Stellung eingenommen, so faßt man zwischen Daumen und Zeigefinger einer Hand zugleich den Rand des äußeren und das innere Gefäß und dreht das Ganze schnell um, Fig. 186 C; beim langsamen Umkehren fließt leicht Wasser aus. Hält man nun das äußere Glas am oberen Ende mit der anderen Hand fest und nimmt die erste Hand weg, so bleibt das kleine Glas ruhig hängen, schiebt man dasselbe aber einige Milimeter weiter in das größere Glas hinauf, so steigt es sofort von selbst weiter, erst langsam, dann aber in dem Maaße schneller, als der Unterschied zwischen a b und der der Fläche e f entsprechenden Wölbung größer, der Wasserdruck auf diese Wölbung also kleiner wird.

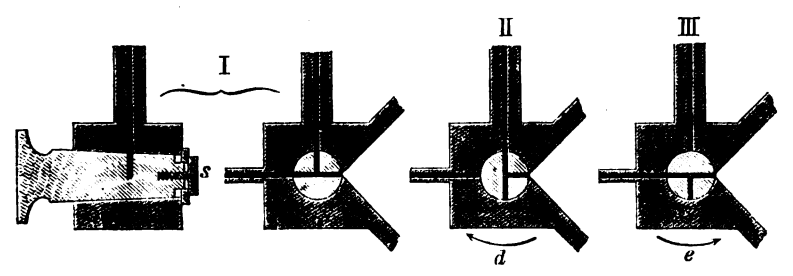
28. **Luftpumpe, Luftpumpenversuche.** Eine große Anzahl von Versuchen über den Druck und die Ausdehnung der Luft lassen sich anstellen mit Hülfe der Luftpumpe. Von den vielen verschiedenen Arten von Luftpumpen soll hier nur eine der einfachsten beschrieben werden, aber auch eine solche einfache Luftpumpe ist, wenn sie wirklich gut und ordentlich brauchbar sein soll, schon ziemlich kostspielig; kann man nicht wenigstens 40 Thaler (mit Nebenapparaten 60 Thlr.) dafür aufwenden, so unterläßt man die Anschaffung lieber ganz. Ein starkwandiges Metallrohr c c (Fig. 187 A und B), der sogenannte Stiefel oder Cylinder, das innen sehr genau cylindrisch ausgedreht und ausgeschliffen ist, sitzt mit zwei Trägern auf einem Fußbrette fest, das man mit einer Schraubzwinge auf einem Tische anschrauben kann. In dem Stiefel ist vollkommen luftdicht zu verschieben ein Kolben k, welcher aus einem kegelförmigen Metallstück mit starkem Schraubenansatz und einem zweiten Metallstück besteht, welches in der Mitte durchbohrt und mit Gewinde versehen ist; zwischen beide Theile sind eine Anzahl Scheiben von gefettetem Leder fest eingepreßt, welche zur Erzielung des luftdichten Schlusses dienen. Die Bewegung des Kolbens geschieht mittelst einer Zahnstange z, welche in ein gezahntes Rädchen r eingreift; eine Kurbel g gestattet, dieses Rädchen zu drehen und eine kleine Rolle über der Zahnstange verhindert, daß diese aus dem Zahnrad herausspringt. An einem Ende ist der Stiefel verschlossen durch ein massives Bodenstück, welches durch sechs Schrauben mit Zwischenlegung einer dünnen, gefetteten Lederscheibe luftdicht aufgepreßt wird. Dieses

Bodenstück ist derart kegelförmig ausgehöhlt, daß die kegelförmige Spitze des Kolbens genau hineinpaßt. Dicht an der Spitze der Höhlung sitzt ein Hahn, welcher bei I, II und III in etwas größerem Maßstabe dargestellt ist. Eine Bohrung geht, wie bei einem gewöhnlichen Hahne, quer hindurch, eine zweite steht auf der ersten rechtwinkelig und geht nur von einer Seite her bis in die Mitte hinein, so daß beide zusammen ohngefähr die Figur eines T bilden.

Fig. 187.







A a. P. 1/4 nat. Gr. B 1/4 nat. Gr. I, II, III 1/3 nat. Gr.

Der Spitze der kegelförmigen Vertiefung gegenüber befindet sich ein kleines Röhrchen a, welches frei in die Luft mündet; vom Hahne aus senkrecht nach oben geht ein starkwandiges Rohr, auf welches oben der metallne Teller t aufgeschraubt ist. Dieser Teller ist entweder selbst sehr sorgfältig eben geschliffen oder es ist darauf eine genau ebene Glasplatte aufgekittet. Das Schraubengewinde, welches den Teller hält, ragt in der Mitte ein wenig

über denselben vor und kann zum Festschrauben von mancherlei Vorrichtungen benutzt werden. Die Gefäße, welche mit der Luftpumpe ausgepumpt werden sollen (Recipienten), sind entweder am Halse mit einer Fassung versehen, welche auf das über den Teller hervorstehende Gewinde paßt, oder sie haben eine weite Oeffnung, deren Ränder so genau eben abgeschliffen sind, daß sie, mit ein wenig Talg bestrichen, ganz luftdicht auf den Teller der Pumpe passen. Die Recipienten, welche man zu den meisten Versuchen benutzt, sind starkwandige Glasglocken. (Einige runde Holzscheiben von passender Dicke und verschiedenem Durchmesser, etwa von 5 bis 12^{cm}, haben in der Mitte ein Loch und werden nach Bedürfniß auf den Teller gelegt, um als Unterlage der Apparate zu dienen, wenn die vorragende Schraube deren unmittelbare Aufstellung auf dem Teller verhindert.)

Nehmen wir an, es sei eine solche Glasglocke auf den Teller der Pumpe gesetzt worden und solle luftleer gemacht (evacuirt) werden. Wir bringen zunächst den Hahn in die Stellung I, so daß er die Verbindung des Pumpenstiefels mit dem auf dem Teller stehenden Recipienten und durch das Röhrchen a zugleich die mit der äußeren Luft herstellt und schieben nun durch passende Drehung der Kurbel g den Kolben bis an das Bodenstück des Cylinders vor, so daß alle Luft aus diesem entweichen muß; sie geht natürlich durch das Rohr a fort. Jetzt drehen wir den Hahn in die Stellung II, so daß der Weg nach a und der äußeren Luft abgesperrt ist, der Cylinder aber noch mit dem Recipienten in Verbindung steht und nun ziehen wir durch eine der vorigen entgegengesetzte Drehung den Kolben zurück. Dabei entsteht zunächst im Cylinder ein leerer Raum, sofort aber dehnt sich die im Recipienten enthaltene Luft aus und verbreitet sich mit im Cylinder. Ist das Volumen des Cylinders eben so groß, als das des Recipienten, so dehnt sich die Luft auf das Doppelte ihres Volumens aus, ihre Dichtigkeit nimmt dabei auf die Hälfte ab; ist das Cylindervolumen größer, als das des Recipienten, so ist die Ausdehnung und folglich die Verdünnung verhältnißmäßig stärker; ist der Recipient größer, als der Cylinder, so sind Ausdehnung und Verdünnung schwächer. Wenn der Kolben am Ende seines Weges angekommen ist, bringen wir den Hahn aus der Stellung II in die Stellung III, und zwar indem wir in der Richtung des Pfeiles d drehen. Dadurch wird der Recipient abgesperrt, der Cylinder aber durch das Röhrchen a in Verbindung mit der äußeren Luft gesetzt und wir hören diese mit sausendem Geräusch in den Cylinder, der verdünnte Luft enthält, hineinfahren, bis die Luft darin wieder gleich dicht mit der äußeren geworden ist. Diese Luft entfernen wir aus dem Cylinder, indem wir durch entsprechende Kurbeldrehung den Kolben wieder bis an den Cylinderboden vorschieben; nachdem dies geschehen ist, wiederholen wir das Verfahren, d. h. wir bringen den Hahn durch Drehung in der Richtung des Pfeiles e wieder in Stellung II und ziehen den Kolben wieder zurück. Bei jedem neuen Kolbenzuge breitet sich die verdünnte Luft des Recipienten mit über den Raum des Cylinders aus und verdünnt sich auf diese Weise weiter; sind Cylinder und Recipient gleich groß, so wird die Luft nach dem zweiten Kolbenzuge auf $1/4$, nach dem dritten auf $1/8$, nach dem vierten auf $1/16$ und so fort, nach dem zehnten auf $1/1024$ verdünnt sein; ist der Recipient nur halb so groß, als der Cylinder, so ist die Verdünnung nach dem ersten Zuge $1/3$, nach dem zweiten $1/9$, nach dem siebenten schon $1/2187$; ist dagegen der Recipient doppelt so groß, als der Cylinder, so ist die Verdünnung nach dem ersten Zuge $2/3$,

nach dem zweiten $^4/_9$, nach dem zehnten erst $^{1024}/_{59049}$ oder nahezu $^1/_{58}$. Aus diesen Zahlenbeispielen ersieht man leicht, daß eine große Luftpumpe viel schneller arbeitet, als eine mit kleinem Stiefel und daß es sich empfiehlt, zu jedem Versuche einen Recipienten zu wählen, welcher nicht größer ist, als eben nöthig.

Nach dem eben Gesagten würde es scheinen, als ließe sich mit einer guten Luftpumpe die Verdünnung bis zu jeder beliebigen Grenze treiben; in Wirklichkeit verhält sich die Sache etwas anders und es ist schon viel, wenn man eine Verdünnung von $^1/_{1000}$ erreicht. Wir haben nämlich oben nicht berücksichtigt, daß die Bohrungen des Hahnes, wenn man aus der Stellung III in die Stellung II übergeht, mit Luft von der Dichtigkeit der äußeren gefüllt sind und daß somit jedesmal wieder etwas dichtere Luft zu der verdünnten des Recipienten hinzukommt. Nach einer gewissen Anzahl von Kolbenzügen wird nun der Fall eintreten, daß die durch die Hahndrehung bewirkte Dichtigkeitszunahme gerade so groß ist, wie die durch den letzten Kolbenzug bewirkte Verdünnung und von da an ist natürlich alles weitere Pumpen unnütz. Das Volumen der Hahnbohrungen bezeichnet man deshalb als den schädlichen Raum. Der schädliche Raum wird manchmal noch dadurch vergrößert, daß der Kolben nicht genau auf den Boden des Stiefels paßt und auch da Luft von atmosphärischer Dichtigkeit zurückbleibt, welche bei der nächsten Drehung mit in den Recipienten gelangt. Jedenfalls soll der schädliche Raum einer Luftpumpe möglichst klein sein; man hat Luftpumpen hergestellt, bei denen der Einfluß des schädlichen Raumes auf eine oder die andere Weise vermieden ist, doch soll hier von der verwickelteren Einrichtung solcher Pumpen abgesehen werden; für die meisten Zwecke reicht die Verdünnung hin, welche die hier beschriebene Luftpumpe giebt. Einen vollkommen leeren Raum herzustellen gelingt auch mit der besten Luftpumpe nicht; am nächsten kommt man demselben mit Hülfe der Quecksilberluftpumpen, welche auf ganz andere Weise wirken, als die Kolbenluftpumpen und deren Betrachtung außerhalb der Grenzen unseres Buches liegt.

Soll eine Luftpumpe dauernd brauchbar bleiben, so muß sie sehr sorglich behandelt werden. Wenn sie nicht gebraucht wird, halte man sie in einem möglichst gut schließenden Kasten, um sie vor Staub zu bewahren, der, wenn er in den Cylinder kommt, denselben leicht verdirbt. Soll sie bei kalter Witterung in Gebrauch genommen werden, so lasse man sie im geheizten Zimmer stehen, bis sie die Zimmerwärme angenommen hat; erst dann darf man den Kolben bewegen, ohne ihr zu schaden. Der Kolben soll immer gut gefettet gehalten werden, man bedient sich dazu des Knochenöls oder ungesalzenen Schweineschmalzes; Baumöl verharzt und verschmiert dadurch die Pumpe, salziges Fett greift die Metalltheile an.

Der Hahn soll nicht zu leicht, aber ganz sanft gehen; er kann, wenn er zu lose ist, durch ganz vorsichtiges Drehen an der Schraube s (Fig. 187 I) etwas angezogen werden, geht er nicht sanft genug, so nimmt man ihn heraus und bestreicht ihn mit etwas Talg. Dabei achte man darauf, die Bohrungen nicht zu verschmieren und reinige den Hahn und die Höhlung, in welcher er sitzt, sorgfältig.

Sollte durch Unvorsichtigkeit Quecksilber in die Luftpumpe gelangen, so bleibt nichts übrig, als dieselbe sofort ganz auseinanderzunehmen, sie gründlich zu reinigen, frisch zu fetten und wieder zusammenzusetzen. Für einen Ungeübten ist diese Arbeit bedenklich, man hüte sich also in die Lage zu kommen, daß man sie ausführen muß.

Sonstige Vorsichtsmaßregeln sind bei den einzelnen Versuchen angegeben, bei denen sie zu beachten sind.

In dem Maße, in welchem die Luft in einem Raume durch Auspumpen verdünnt wird, nimmt der Druck derselben ab. Am anschaulichsten läßt sich

dies zeigen mittelst eines gläsernen Recipienten, welcher so hoch ist, daß man ein ganzes Barometer darunter bringen kann; sobald man anfängt auszupumpen sinkt das Quecksilber. In der Regel begnügt man sich aber mit einem ganz kleinen, nur einige (6 bis 20) Centimeter hohen Heberbarometer (Barometerprobe), dessen offener Schenkel eben so lang ist, wie der verschlossene und welches unter einem gewöhnlichen Recipienten Platz hat. In einem solchen abgekürzten Barometer liegt für gewöhnlich das Quecksilber am verschlossenen Ende an, so daß keine Toricelli'sche Leere vorhanden ist; die Quecksilbersäule ist viel kleiner, als sie der gewöhnliche Luftdruck zu tragen vermöchte und deshalb sinkt das Quecksilber der Barometerprobe nicht bei den ersten Kolbenzügen, sondern erst dann, wenn der Luftdruck im Recipienten kleiner geworden ist, als der Höhe der Quecksilbersäule entspricht. Man benutzt die Barometerprobe, um zu erkennen, welche Verdünnung die Luftpumpe hervorbringt; steht das Quecksilber im verschlossenen Schenkel nur noch 1^{cm} höher, als im offenen, so ist der Luftdruck im Recipienten nur noch der sechsundsiebenzigste Theil des gewöhnlichen Luftdrucks, die Luft ist also auf $1/_{76}$ verdünnt. Von einer guten Luftpumpe verlangt man, daß sie die Barometerprobe bis auf 1^{mm} herunterbringt.

Haupterforderniß einer Barometerprobe ist, daß dieselbe über dem Quecksilber keine Spur von Luft enthält, weil sie sonst ganz unrichtige Anzeigen giebt; in einer lufthaltigen Barometerprobe stellt sich das Quecksilber des verschlossenen Schenkels beim Auspumpen zu tief und kann, wenn der Recipient gut ausgepumpt ist, selbst tiefer stehen, als im offenen Schenkel.

Beim Wiederzulassen von Luft in den evacuirten Recipienten muß man vorsichtig verfahren, damit der Druck nur langsam zunimmt und das Quecksilber nicht zu heftig an das verschlossene Ende des Glasrohres anschlägt, weil es dieses sonst zerbrechen kann; man darf also den Hahn nur ganz langsam in die Stellung I bringen.

Um die Luftpumpe mittelst der Barometerprobe zu prüfen, nimmt man einen Recipienten, welcher neben der Barometerprobe noch ein kleines Trinkglas oder ganz kleines Einmachglas faßt, das man 1^{cm} hoch voll englische Schwefelsäure gießt. Die Schwefelsäure hat die Eigenschaft, Wasserdunst aus der Luft anzuziehen und dient auch hier zu Entfernung von Wasserdunst, der sich aus später zu erörternden Gründen durch bloßes Auspumpen nicht ganz entfernen läßt. Zum Trocknen der Luft läßt sich die Schwefelsäure nicht lange benutzen; wenn sie wirklich Wasser angezogen hat, wird sie wirkungslos; man schüttet sie aber nicht weg, sondern bewahrt sie in einer besonderen Flasche auf, um sie zur Wasserstoffentwickelung oder zu galvanischen Versuchen (siehe später) zu benutzen.

Eine gute Luftpumpe muß nicht nur die Barometerprobe bis auf einen Höhenunterschied der Quecksilberkuppen von 1^{mm} herunterbringen, sondern es muß auch dieser Stand unverändert erhalten bleiben, wenn man die Pumpe mit der Hahnstellung III einen Tag lang stehen läßt; genügt die Pumpe dieser Forderung nicht, so ist der Hahn oder der Teller undicht. Fällt diese Probe befriedigend aus, so dreht man jetzt den Hahn in Stellung II, dabei darf das Quecksilber der Barometerprobe nur ganz wenig steigen (wegen der aus dem schädlichen Raume stammenden Luft), muß dann aber wieder ruhig stehen bleiben, wenigstens einige Stunden lang, und zwar auch, wenn man während dieser Zeit wiederholt ganz langsam der Kolben hin- und herbewegt, ohne an der Hahnstellung zu ändern; ist dies nicht der Fall, so ist entweder die Verbindung zwischen dem Cylinder und seinem Bodenstück undicht, oder der Kolben schließt nicht mehr. Zeigt eine neue Luftpumpe einen derartigen Fehler, so gebe man sie sofort zurück, stellt sich nach längerrm Gebrauche ein Fehler ein, so wird man dessen Beseitigung einem zuverlässigen Mechaniker überlassen.

So wie das Quecksilber in einem Barometer fällt, wenn man die Luft außerhalb des Barometers mit der Luftpumpe entfernt, so muß in einer in Quecksilber getauchten Glasröhre das Quecksilber aufsteigen, wenn man diese

Röhre auspumpt und zwar nahezu so hoch, wie es im Barometer steht; könnte man mittelst der Pumpe die Röhre vollkommen luftleer machen, so müßte das Quecksilber völlig die Barometerhöhe erreichen.

Röhren oder enghalsige Gefäße verbindet man behufs des Evacuirens mit dem Röhrchen a und bedient sich dann des durch den Teller mündenden Rohres zur Verbindung des Stiefels mit der äußeren Luft. Vor dem Zurückziehen des Kolbens muß dann der Hahn die Stellung III haben und vor dem Vorwärtsschieben die Stellung II, also gerade umgekehrt, wie beim Auspumpen eines auf dem Teller stehenden Recipienten. Für den vorliegenden Versuch biegt man ein 90^{cm} langes, 2 bis 5^{mm} weites Glasrohr 5^{cm} von einem Ende rechtwinkelig um und verbindet den umgebogenen Theil durch ein Stückchen Kautschukschlauch mit dem Röhrchen a der an der Tischecke befestigten Pumpe, so daß der längere Theil des Glasrohres senkrecht neben dem Tische niederhängt. Das Glasrohr und das Röhrchen a müssen im Kautschukschlauch an einander stoßen; bleibt zwischen beiden ein freier Raum, so wird der weiche Schlauch beim Auspumpen vom äußeren Luftdruck flach zusammengepreßt und dadurch die ordentliche Verbindung beider Theile unterbrochen; paßt der Schlauch nicht ganz streng auf beide Röhren, so umbindet man ihn mit schwachem Bindfaden. Das herabhängende Ende des Glasrohres läßt man in das mit Quecksilber gefüllte Gefäß Fig. 162 eintauchen und zwar so tief, daß es aufsteht, weil es schwer wird, wenn es sich mit Quecksilber füllt und ohne Unterstützung zu stark an dem Kautschukschlauch ziehen würde. Der auszupumpende Raum ist hier sehr klein gegen den Cylinder, deshalb ist die Verdünnung schon beim ersten Kolbenzug stark genug, um das Quecksilber etwa 70^{cm} hoch aufsteigen zu lassen. Man achte sorgfältig darauf, daß das untergesetzte Gefäß genug Quecksilber enthält, um auch zuletzt noch die Mündung des Glasrohres zu sperren, denn wenn da unten Luft eintreten kann, so schleudert sie das im Rohr befindliche Quecksilber gewaltsam in die Pumpe. Nach beendigtem Versuche lasse man sehr langsam Luft eintreten (mittelst der Hahnstellung I), damit das Quecksilber im Glasrohr langsam sinkt und nicht über den Rand des Gefäßes herausgeworfen wird.

Die Gewalt des Luftdrucks recht handgreiflich zu zeigen, dienen die **Magdeburger Halbkugeln**. Dies sind hohle Halbkugeln aus Metall, welche mit ihren Rändern genau aufeinanderpassen und deren eine mit einem Rohransatz versehen ist, welcher durch einen Hahn abgesperrt werden kann; dieser Rohransatz hat ein auf die Schraube des Luftpumpentellers passendes Gewinde. Bestreicht man die Ränder der Halbkugeln mit etwas Talg, setzt sie aufeinander und pumpt sie aus, so werden sie durch den äußeren Luftdruck fest gegeneinander gepreßt; nachdem man den Absperrhahn geschlossen hat, schraubt man sie von der Pumpe ab und kann dann durch Personen oder durch Gewichte an den daran sitzenden Handgriffen ziehen lassen, um die Stärke dieses Druckes zu erproben; es beträgt die zum Auseinanderreißen nöthige Kraft bei einem Durchmesser der Höhlung von 5^{cm} ohngefähr 20^{kgr}, bei 10^{cm} Durchmesser 80^{kgr}, bei 20^{cm} Durchmesser mehr als 300^{kgr}, wie sich leicht ergiebt, wenn man den Inhalt der Kreisfläche berechnet, welche den Querschnitt der Kugel bildet und die Anzahl Quadratcentimeter, welche diese Fläche enthält, mit der Größe des Luftdrucks auf $1 \square^{cm}$ (nahezu 1^{kgr}) multiplicirt.

Es ist zweckmäßig, die Ränder der beiden Halbkugeln nicht ihrer ganzen Breite nach eben zu machen, sondern der einen Halbkugel einen schmalen, rund herum laufenden Vorsprung zu geben, damit sich die Halbkugeln nicht seitlich gegen einander verschieben können. Beim Versuche mache man den Zug nicht so stark, daß ein Auseinanderreißen stattfindet, weil man dabei leicht mit einer Halbkugel irgendwo anschlägt und dieselbe dabei verdirbt; um die beiden Hälften leicht wieder auseinandernehmen zu können, braucht man nur den Hahn zu öffnen. Infolge der Adhäsion

haften die Hälften auch nachher noch mäßig fest aneinander, lassen sich aber bequem auseinandernehmen, zumal, wenn man etwas dreht.

Ohne Magdeburger Halbkugeln kann man die Wirkung des Luftdrucks schon daran zeigen, daß nach einigen Kolbenzügen (ja schon nach einem) ein gläserner Recipient auf dem Teller fest haftet, doch darf man dabei nur ganz geringe Kraft anwenden, wenn man nicht Gefahr laufen will, die Pumpe oder den Recipienten zu beschädigen. Wirklich abnehmen darf man einen Recipienten nur, nachdem er wieder mit Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit gefüllt ist. Auch nachdem man dem Hahn die Stellung I gegeben hat, haftet ein Recipient manchmal so fest, daß man einige Mühe hat, ihn los zu bekommen, besonders wenn er unten einen breiten Rand hat; man dreht ihn zwischen beiden Händen, bis er los ist und hebt ihn erst dann auf.

Fühlbar kann man den Luftdruck auch machen, ohne daß man eine Luftpumpe besitzt: Einen Glastrichter von 4 bis 5^{cm} Weite schleift man auf einer Glasplatte mit Smirgel gut eben (wie die Gefäße für den Bodendruck, §. 19), schiebt auf das Rohr des Trichters ein Stückchen Kautschukschlauch und versieht dieses mit einem Quetschhahn. Den abgeschliffenen Rand des Trichters bestreicht man mit etwas Talg, setzt ihn auf eine Adhäsionsplatte, öffnet durch Druck mit den Fingern den Quetschhahn, saugt mit dem Munde kräftig an dem Kautschukschlauch und läßt den Quetschhahn wieder zugehen, ehe man zu saugen aufhört. Der Druck der auf diese Weise verdünnten Luft im Innern des Trichters ist schon soviel kleiner, als der der äußeren Luft, daß eine Kraft von 3 bis 10^{kgr} nöthig sein würde, um Platte und Trichter auseinanderzureißen; soviel Kraft wird man nicht anwenden, um die gläsernen Gegenstände nicht zu zerbrechen, doch kann man ohne Schaden schon ziemlich kräftig ziehen, wenn man die Adhäsionsplatte rings am Rande mit den Fingerspitzen der linken, den Hals des Trichters mit der rechten Hand faßt.

Ein metallner oder dickwandig gläserner Ring (ein beiderseits offener Cylinder) von 12 bis 15^{cm} Durchmesser und ebenso großer Höhe, dessen unterer Rand eben geschliffen, dessen oberer wulstig umgebogen ist, um eine Thierblase darüber ausspannen zu können, dient gleichfalls um die Wirkung des Luftdrucks zu veranschaulichen. Die Blase wird mit lauem Wasser aufgeweicht, straff über den Ring gezogen und mit mehrfach umgeschlungenen Bindfaden befestigt. Setzt man nun den abgeschliffenen Rand des Ringes auf den Luftpumpenteller und pumpt aus, so drückt die äußere Luft die Blase tief in das Innere des Ringes hinein.

Hat man die Blase so aufgespannt, daß die ursprünglich innere Seite derselben nach außen kommt und sie vollkommen (am warmen Ofen oder in der Sonne) trocken werden lassen, so kann es geschehen, daß sie von dem Atmosphärendruck mit lautem Knalle zersprengt wird; sicher gelingt dieses Zersprengen freilich nur mit einer großen Luftpumpe, welche schnell die erforderliche Luftverdünnung schafft; bei langsamem Auspumpen wird die Blase so gedehnt, daß sie undicht wird und Luft durchläßt, ohne eigentlich zu zerreißen. Mit Hülfe desselben Ringes läßt sich auch eine dünne, ebene Glastafel zersprengen, die man auf denselben kittet, doch ist von diesem Versuche abzurathen; in den Ring muß man jedenfalls ein Tuch oder dergl. zwischen die zu sprengende Platte und den Teller bringen, damit nicht dieser oder das Innere der Pumpe von Glassplittern beschädigt wird; ohnehin kann man den Versuch nur machen, indem man ein Tuch über deckt, um sich vor den Splittern zu sichern.

Ein weiterer Versuch zum Nachweise des Luftdrucks ist der Quecksilberregen. In das engere Ende eines Moderateurlampencylinders kittet man ein Näpfchen aus Nußbaumholz von der in Fig. 188 bei a gezeichneten Form, das weitere Ende wird eben geschliffen, um auf den Pumpenteller zu passen; in diesen weiteren Theil kommt ein anderes Näpfchen b aus dichtem Holze. Pumpt man aus, nachdem das Näpfchen a mit Quecksilber gefüllt ist, so treibt der Luftdruck das Quecksilber in feinen Tröpfchen durch die Poren des Holzes hindurch.

Dieser Versuch ist nur in unmittelbarer Nähe zu sehen, aus ganz geringer Entfernung sind die winzigen Tröpfchen schon nicht mehr sichtbar. Das Näpfchen b verhindert das Hereinfallen von Quecksilber in die Pumpe, es wird zweckmäßig polirt. Das Näpfchen a läßt man so drehen, daß die Holzfaser die Richtung hat, wie die Schraffirung in der Figur, das Einkitten geschieht mit Siegellack.

Fig. 188.

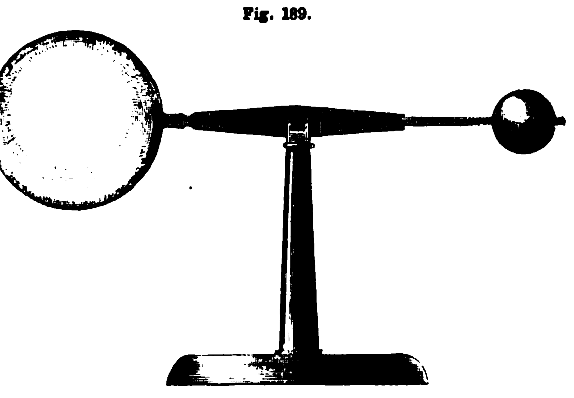


$^1/_2$ nat. Gr.

Das Gewicht der Luft läßt sich bequemer, als auf die in §. 24 angegebene Weise zeigen, wenn man einen Glasballon von 1 bis 2 Liter Inhalt mit einer Messingfassung besitzt, welcher mit einem Hahn versehen und zum Aufschrauben auf die Luftpumpe eingerichtet ist. Man pumpt den Ballon aus, schraubt ihn ab, hängt ihn an die Wage, bringt ihn in's Gleichgewicht und öffnet dann den Hahn ein ganz klein wenig, so daß die Luft nur langsam eindringt; in dem Maße, wie er sich füllt, sieht man ihn niedersinken.

Hat man eine Luftpumpe, aber keinen besondern Ballon mit Fassung, so richtet man sich einen Glaskolben wie zu dem Versuche in §. 24 her, ohne aber Wasser hineinzubringen. Den Quetschhahn schiebt man zunächst ganz über den Kautschukschlauch hinweg, so daß er auf dem Glasrohr sitzt, dann bestreicht man das Röhrchen a der Luftpumpe mit ein wenig Fett, schiebt es so tief in den Kautschukschlauch hinein, daß es das Glasrohr berührt und pumpt aus. Ist dies geschehen, so schiebt man den Schlauch vorsichtig etwas zurück, so daß ein Zwischenraum zwischen dem Gasrohr und dem Messingrohr entsteht; an dieser Stelle wird der Kautschukschlauch sofort von der äußeren Luft zusammengedrückt; man setzt nun den Quetschhahn auf diese Stelle, nimmt die Vorrichtung von der Röhre a ab, hängt sie an der Wage auf und verfährt dann wie früher.

Fig. 189.



$^1/_2$ nat. Gr.

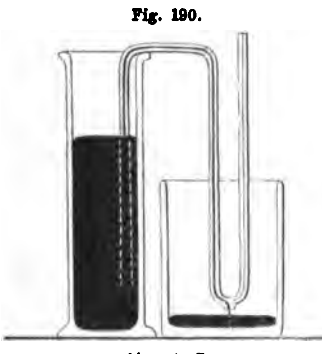
Das Vorhandensein eines Gewichtsverlustes in der Luft läßt sich veranschaulichen mittelst einer kleinen Vorrichtung, Fig. 189, welche **Dasymeter** oder **Baroskop** genannt wird. Ein Säulchen trägt einen kleinen, empfindlichen Wagbalken, an welchem einerseits eine massive Messingkugel, andererseits eine hohle, luftdicht verschlossene Glaskugel befestigt ist. Die Messingkugel wird so abgeglichen, daß sie im lufterfüllten Raume der Glaskugel das Gleichgewicht

hält. Da die Glaskugel ein viel größeres Volumen hat, als die Messingkugel, so verdrängt sie mehr Luft, hat also einen größeren Gewichtsverlust; sollen deshalb beide Kugeln gleich schwer erscheinen, so muß die Glaskugel in Wahrheit etwas schwerer sein, als die Messingkugel. Stellt man nun die Vorrichtung unter den Recipienten und entfernt aus diesem die Luft, so muß auch der Gewichtsverlust aufhören und die Glaskugel sinkt nieder; läßt man die Luft wieder in den Recipienten, so stellt sich der Gleichgewichtszustand wieder her.

Wenn der Arm, welcher die Metallkugel trägt, eine Schraube bildet, so daß man diese Kugel etwas hin und her schrauben kann, so läßt sich die Vorrichtung auch so stellen, daß im leeren Raume Gleichgewicht herrscht und in der Luft die Metallkugel niedersinkt.

Da die Wirkung des Hebers auf dem Luftdruck beruht, so muß ein Heber unter der Luftpumpe aufhören zu fließen. Mit Wasser läßt sich dies aber nur schwer zeigen. Da der gewöhnliche Luftdruck eine 10^{m} hohe Wassersäule zu tragen vermag, so müßte man den Druck auf weniger als den hundertsten Theil verringern, ehe ein nur 10^{cm} hoher Heber aufhörte zu fließen; ehe man so weit auspumpt, ist in der Regel das Wasser schon aus einem Gefäße in das andere vollständig übergeflossen und überdies stört dabei der aus dem Wasser sich entwickelnde Dunst. Dagegen geht der Versuch recht gut mit Quecksilber. Ein ganz enger Heber von der aus Fig. 190 ersichtlichen Form hat in der Mitte der unteren Biegung eine Oeffnung, bildet also eine Art Giftheber und wird in ein Cylinderglas voll Quecksilber gehängt, welches neben einem leeren Gefäße auf dem Luftpumpenteller steht, angesaugt und dann mit dem Recipienten bedeckt. Pumpt man nicht zu langsam aus, so gelangt man bald dahin, daß der längere Quecksilberfaden am höchsten Punkte des Hebers abreißt und da ein leerer Raum im äußeren Heberschenkel entsteht, in den aber aus dem eingetauchten Schenkel immer noch Quecksilber überfließt; pumpt man noch etwas weiter, so sinkt auch im zweiten Schenkel das Quecksilber und der Heber hört auf zu wirken.

Fig. 190.



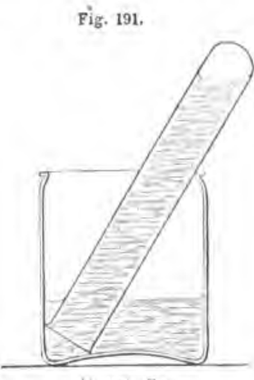
1/3 nat. Gr.

Die lichte Weite des Hebers soll nur $0^{mm},5$ betragen. Die seitliche Oeffnung erhält man, indem man das eine Ende des noch nicht gebogenen 40 bis 50^{cm} langen Rohres mit dem Finger zuhält, in das andere Ende einen Gehülfen kräftig hineinblasen läßt und dann die Stelle, wo sich die Oeffnung bilden soll, mit der Löthrohrstichflamme so anbläst, daß dieselbe nur eine Seite des Glasrohres bis zum Weichwerden erhitzt; es bildet sich dabei eine kleine Blase, welche aufplatzt, die Ränder der entstandenen Oeffnung schmilzt man in der gewöhnlichen Flamme etwas rund und biegt dann das Rohr in die gewünschte Form.

Stellt man einen kleinen Heronsball unter die Luftpumpe, so fängt dieser an zu springen, wenn man auspumpt und also den Druck der Luft, die ihn umgiebt, kleiner macht, als den der Luft, welche in ihm eingeschlossen ist. Die Ausdehnung der Luft bei abnehmendem Druck läßt sich auf sehr verschiedenartige Weise zeigen. Ein Cartesianischer Taucher, der so schwer gemacht worden ist, daß er von selbst untersinkt, steigt, wenn

man ihn in einem offenen Glase unter den Recipienten bringt. Eine nur zum Theil mit Luft gefüllte und dann verschlossene Blase bläht sich unter dem Recipienten prall auf, ebenso ein welker Apfel, weil dieser im Innern Luft enthält; dichter Seifenschaum, in einer 1^{cm} hohen Schicht auf den Boden eines Trinkglases gebracht, füllt dasselbe beim Auspumpen bis zum Rande an; ein fast ganz mit Wasser gefülltes, umgekehrt in Wasser gestelltes Probirglas, Fig. 191, entleert sich wegen der Ausdehnung der Luft, um sich beim Wiederzulassen der äußeren Luft wieder zu füllen; ein an der Spitze mit einer feinen Oeffnung versehenes und mit dieser nach unten auf einem kleinen Drahtdreifuß aufgestelltes Ei entleert sich gleichfalls, weil dasselbe am breiten Ende eine Luftblase enthält, welche sich beim Evacuiren ausdehnt.

Fig. 191.

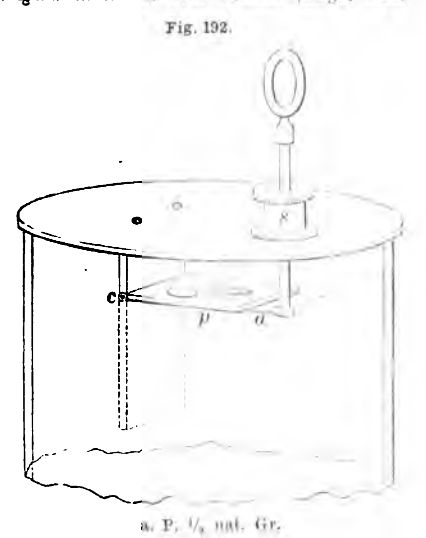


1/3 nat. Gr.

Wasser enthält immer kleine Mengen von Luft aufgelöst; pumpt man stark aus, so scheidet sich diese Luft in kleinen Bläschen ab, welche sich an die Wände des Glases ansetzen, worin sich das Wasser befindet; moussirende Getränke, die ziemlich viel einer besonderen Gasart (Kohlensäuregas) aufgelöst enthalten, schäumen unter der Luftpumpe sehr stark auf, weil dieses Gas bei dem geringen Drucke entweicht.

Den Versuch mit dem Cartesianischen Taucher kann man auch ohne Luftpumpe anstellen, weil er nur eine ganz schwache Verdünnung der Luft erfordert, wenn man den Taucher nur soweit mit Wasser füllt, daß er eben untersinkt; man bringt ihn dann in eine Flasche mit Wasser, an deren Hals man mit dem Munde saugt; noch bequemer ist es, in den Hals einen passenden Kork mit rechtwinkelig umgebogenen Glasrohr zu setzen und an dem Rohr zu saugen.

Fig. 192.



a. P. 1/6 nat. Gr.

Bei den Versuchen mit Wasser und wässrigen Flüssigkeiten gelangt immer Wasserdunst in die Pumpe (bei sehr starkem Auspumpen geräth das Wasser geradezu ins Sieden, siehe später); man macht deshalb diese Versuche gleich hintereinander weg und trocknet dann die Pumpe aus. Da es kaum zu rathen ist, sie zu diesem Behufe auseinanderzunehmen, so verfährt man so, daß man unter einen Recipienten ein flaches Gefäß mit englischer Schwefelsäure und die Barometerprobe stellt, möglichst vollkommen auspumpt, dann die Pumpe wieder mit der Hahnstellung II eine Stunde lang stehen läßt und während dieser Zeit den Kolben öfters hin- und herbewegt. Das an den Wandungen der Hahnbohrungen und des Cylinders etwa niedergeschlagene Wasser verdunstet bei diesem Verfahren und wird von der Schwefelsäure verschluckt.

Im Eingange des §. 10 ist erwähnt, daß im leeren Raume alle **Körper gleich schnell fallen**; um dies zu zeigen dient entweder ein langer Glascylinder, beiderseits mit aufgekitteten Messingfassungen versehen, deren eine Hahn und Gewinde zum Aufschrauben auf die Pumpe hat oder ein ähnlicher

Cylinder, welcher an beiden Enden genau abgeschliffen ist und mit einem Ende auf den Pumpenteller gestellt wird, während auf das andere Ende ein besonders eingerichteter Deckel kommt. An der inneren Seite dieses Deckels, Fig. 192, ist eine kleine Messingplatte p angebracht, welche sich um ein Charnier c drehen kann; durch den Deckel geht luftdicht (mittelst einer sogenannten Stopfbüchse s) ein drehbarer Messingstab, der unten einen kleinen Arm a trägt. Dieser Arm hält die Platte, auf welche man zwei recht verschiedenartige Körper (etwa eine Flaumfeder und eine kleine Münze) legt, solange bis das Auspumpen vollendet ist; dann dreht man ihn in die punktirt angedeutete Stellung; die Platte klappt herunter, läßt die Versuchskörper frei und diese fallen gleich schnell abwärts. Ein Apparat von dieser Art zeigt die Erscheinung recht schön, er muß freilich, wenn man den Versuch mehrmals hintereinander wiederholen will, jedesmal auseinandergenommen und frisch zusammengestellt und ausgepumpt werden, was bei der Größe des Cylinders mühsam ist.

In einen Glascylinder mit festen Fassungen müssen natürlich die Fallkörper (eine kleine Münze und dünne Papierschnitzel) vor dem Aufkitten der zweiten Fassung gebracht werden; ein solcher Cylinder wird nach den Auspumpen abgeschraubt und in der Hand umgestürzt, um die Körper fallen zu sehen; man kann damit den Versuch beliebig oft wiederholen, doch hat der Apparat den Uebelstand, daß die Körper leicht an der Glaswandung herunter gleiten, anstatt frei zu fallen.

Ein Kreisel, wie in §. 8 erwähnt ist, läuft etwa doppelt so lange, als in freier Luft, wenn man ihn nach dem Loslassen mit seinem Näpfchen auf den Luftpumpenteller setzt, einen Recipienten darüber deckt und schnell auspumpt.

Außer zu den hier beschriebenen Versuchen dient die Luftpumpe noch zu anderen, welche in der Lehre von der Elektricität und von der Wärme Erwähnung finden werden.

Eine Hahnluftpumpe kann ohne weiteres auch zum Verdichten der Luft, als Compressionspumpe, gebraucht werden, doch ist der Gebrauch der Compressionspumpe ein ziemlich beschränkter. Stellt man beim Zurückziehen des Kolbens den Hahn in die Stellung II (Fig. 187), beim Vorwärtsschieben in die Stellung III, als ob man einen auf dem Teller stehenden Recipienten auspumpen wollte, so wird die von oben (bei t) eintretende Luft mit Gewalt durch das Röhrchen a herausgepreßt und läßt sich in einem mit a verbundenem Raume zusammenpressen (comprimiren). Schiebt man ein 10^{cm} langes, 6 bis 8^{mm} starkes Stückchen guten Kautschukschlauch etwa 1^{cm} weit auf das Röhrchen a, bindet es da durch straff umgewickelten Bindfaden fest und verschließt das andere Ende des Röhrchens durch recht festes Zubinden, so kann man durch Hineinpressen von Luft den Kautschukschlauch zu einer etwa 25^{cm} langen, 3 bis 4^{cm} dicken, ziemlich durchscheinenden Wurst aufblähen, die sich beim Herauslassen der Luft beinahe wieder auf die ursprüngliche Größe des Schlauches zusammenzieht; schlechter Kautschuk platzt, ohne sich vorher merklich aufzublähen.

Durch umgekehrte Hahnstellung (III beim Zurückziehen, II beim Vorwärtsschieben des Kolbens) könnte man die bei a eindringende Luft nach einem auf dem Teller befestigten Recipienten treiben und in diesem comprimiren, doch unterläßt man dies besser, da gläserne Recipienten durch den wachsenden Luftdruck zersprengt oder, wenn sie nicht gut auf dem Teller

befestigt sind, in die Höhe geworfen werden können und man dabei leicht ernstlichen Schaden nimmt.

29. **Saug- und Druckpumpen.** Der Luftpumpe einigermaßen ähnlich sind die Wasserpumpen; bei ihnen dienen aber anstatt eines Hahnes zum abwechselnden Schließen und Oeffnen der einzelnen Wege Ventile, die man übrigens auch bei manchen Luftpumpen anwendet. Unter einem Ventil versteht man eine Vorrichtung, welche einem Strome (von Wasser, Luft, Dampf oder dergl.) den Durchgang nur in einer bestimmten Richtung gestattet. Sehr häufig vorkommende Formen von Ventilen sind die Klappenventile und die Kegelventile.

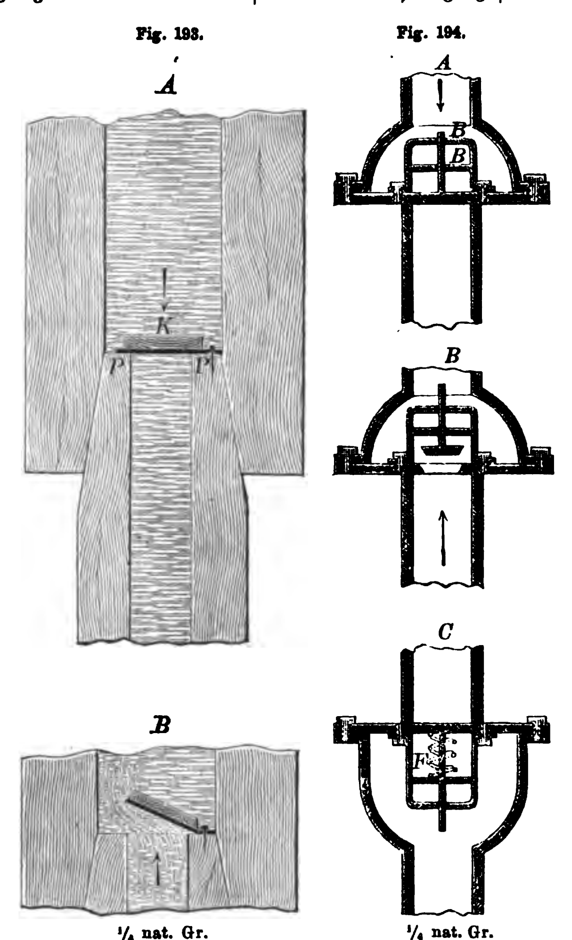


Fig. 193. ¼ nat. Gr.

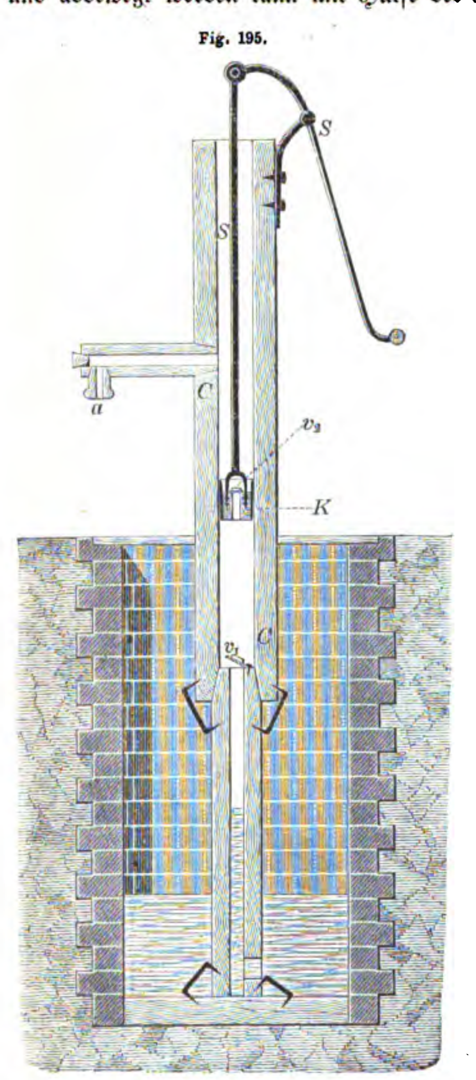
Fig. 194. ¼ nat. Gr.

Das Klappenventil, Fig. 193, besteht aus einer hölzernen oder metallnen Klappe K, die am Rande herum mit einem Lederstreifen versehen ist; an einer Seite ist dieser Rand zugleich auf der ebenen Fläche P P, dem Ventilsitz befestigt; durch seine Biegsamkeit gestattet er, daß die Platte sich um diese Seite, wie um ein Charnier dreht. Wird die Flüssigkeit von oben gedrückt, so preßt sie die Klappe fest auf den Ventilsitz auf und versperrt sich dadurch selbst den Weg, Fig. 193 A; das Leder bewirkt, daß die Klappe auf dem Ventilsitz dicht schließt. Wirkt dagegen ein Druck von unten, so hebt die Flüssigkeit die Klappe und kann durch die Oeffnung des Ventilsitzes durchströmen, Fig. 193 B.

Bei dem Kegelventil, Fig. 194, ist der Ventilsitz mit einer kegelförmig nach unten verengten Oeffnung versehen, in welche eine runde Platte genau eingeschliffen ist; diese Platte hat in der Mitte einen Stiel, der auf irgend eine Weise, z. B. durch Oeffnungen in zwei Bügeln B B geführt ist, so daß die Platte nun geradlinig auf- und abbewegt werden kann; die Wirkungsweise ist der des Klappenventils ganz ähnlich. Kegelventile werden immer von Metall gemacht. Soll sich ein Ventil nicht nach oben, sondern nach unten öffnen,

so muß es mit einer Feder F (Fig. 194 C) versehen sein, die den Ventilkörper gegen den Ventilsitz drückt. Die Saugpumpe, die hauptsächlich als Brunnenpumpe angewendet wird, zeigt Fig. 195. C C ist ein möglichst gut ausgebohrter (gewöhnlich hölzerner) Cylinder, in dem ein Kolben K auf- und abbewegt werden kann mit Hülfe der Kolbenstange S und eines ungleicharmigen Winkelhebels, des sogenannten Pumpenschwengels s. Der Boden des Cylinders ist gebildet durch das obere Ende des etwas engeren Saugrohres R; auf der ebenen Endfläche des Saugrohres liegt ein Klappenventil, das Saugventil v_1, das in der Figur im geöffneten Zustande dargestellt ist. Ein zweites Ventil v_2 ist im Kolben angebracht, der Kolben ist durchbohrt und die Kolbenstange unten gabelförmig gestaltet, um für dieses Ventil Raum zu gewinnen. (Die einzelnen Theile der Pumpe sind nicht im richtigen, gegenseitigen Verhältniß ihrer Größe gezeichnet.)

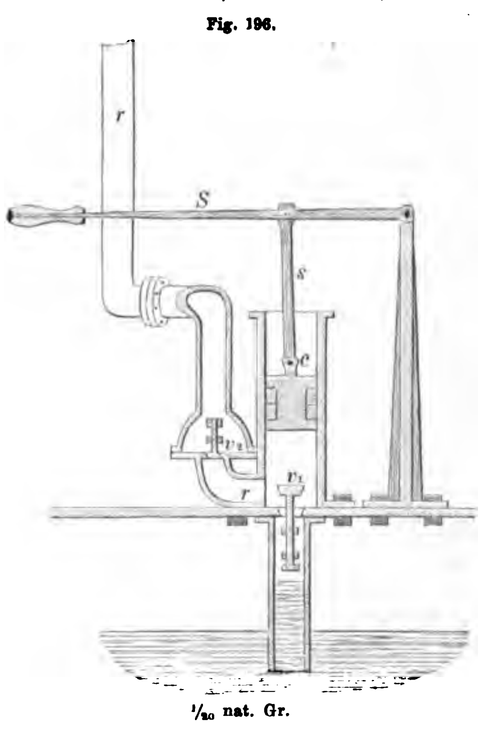
Fig. 195.



Befindet sich in dem Raume unterhalb des Kolbens Luft und der Kolben wird nach oben bewegt, so daß dieser Raum sich vergrößert und die Luft sich ausdehnt, so muß nach dem Mariotte'schen Gesetz ihr Druck kleiner werden, als er anfangs war, also auch kleiner, als der äußere Luftdruck. Von oben her kann keine Luft in diesen Raum gelangen, weil das Kolbenventil v_2 sich nur nach oben öffnet, dagegen tritt aus der Saugröhre durch das Ventil v_1 Luft unter den Kolben, es wird also auch die Luft im Saugrohre mit verdünnt; ihr Druck wird kleiner und der äußere Luftdruck, welcher auf die Oberfläche des Wassers drückt, in welches das Saugrohr eintaucht, treibt dieses Wasser ein Stück im Saugrohr in die Höhe. Wird der Kolben wieder hinabbewegt, so wird die unterhalb desselben befindliche Luft zusammengedrückt, weil sie durch das Saugventil v_1 nicht wieder zurücktreten kann; sobald der Druck dieser eingeschlossenen Luft durch das Zusammendrücken größer geworden ist, als der äußere Luftdruck, hebt sie das Kolbenventil und entweicht nach oben. Bei einer Wiederholung

der Kolbenbewegung wird abermals eine Portion Luft aus dem Raume unterhalb des Kolbens entfernt und das Wasser im Saugrohre durch den Ueberschuß des äußeren Luftdrucks über den Druck der verdünnten Luft höher hinaufgetrieben; nach wenigen Kolbenzügen steigt das Wasser beim Aufgange des Kolbens durch das Saugventil in den Cylinder und beim Niedergange des Kolbens durch das Kolbenventil bis über den Kolben. Wenn auf solche Weise die Luft aus der Pumpe entfernt ist, kann beim Aufsteigen des Kolbens unter diesem keine Luftverdünnung mehr eintreten, sondern es müßte sich ein wirklich leerer Raum bilden; ein solcher kommt aber nicht zu Stande, weil der Luftdruck auf die Wasserfläche sofort den Raum unterhalb des Kolbens mit Wasser anfüllt. Von nun an tritt bei jedem Niedergang des Kolbens das Wasser, das sich unter dem Kolben befand, über denselben, bei jedem Aufgang tritt neues Wasser durch das Saugrohr in den Cylinder und das über dem Kolben stehende Wasser wird durch denselben gehoben, bis es schließlich durch die Ausflußröhre a abläuft.

Fig. 196.



$^1/_{20}$ nat. Gr.

Es ist leicht einzusehen, daß das Saugrohr einer Pumpe nicht jede beliebige Höhe haben darf; der Luftdruck auf die freie Wasseroberfläche ist, wie wir wissen, gleich dem Druck einer 10^m hohen Wassersäule und vermag also das Wasser im Saugrohr höchstens 10^m hoch zu heben; das Saugventil darf also nicht ganz 10^m hoch über dem Wasserspiegel liegen, damit das Wasser noch über dasselbe steigt. Bei gewöhnlichen Pumpen schließt in der Regel der Kolben nicht ganz luftdicht, so daß man unter demselben nie einen ganz leeren Raum herstellen kann; bei solchen Pumpen darf dann auch das Saugventil nicht so hoch liegen.

Die Dichtung des Kolbens ist bei hölzernen Saugpumpen in der Regel bewirkt durch eine kurze, nach oben etwas erweiterte Röhre von Leder, welche unten am Kolben rund herum befestigt ist und sich beim Aufwärtsbewegen des Kolbens dicht an die Wandung des Cylinders anlegt infolge des Druckes, der oberhalb des Kolbens herrscht und größer ist, als der Druck unter dem Kolben.

Die Druckpumpe, die gewöhnlich in Metall ausgeführt wird, Fig. 196, unterscheidet sich von der Saugpumpe dadurch, daß sie einen massiven Kolben hat; die anfangs im Cylinder enthaltene Luft und später das Wasser entweichen hier durch ein unten am Cylinder angesetztes Rohr r r, in dem sich das Druckventil v_2 befindet; die beiden Ventile v_1 und v_2 wirken beim Spiele des Kolbens in ganz ähnlicher Weise, wie bei der Saugpumpe; durch einen

dies zeigen mittelst eines gläsernen Recipienten, welcher so hoch ist, daß man ein ganzes Barometer darunter bringen kann; sobald man anfängt auszupumpen sinkt das Quecksilber. In der Regel begnügt man sich aber mit einem ganz kleinen, nur einige (6 bis 20) Centimeter hohen Heberbarometer (Barometerprobe), dessen offener Schenkel eben so lang ist, wie der verschlossene und welches unter einem gewöhnlichen Recipienten Platz hat. In einem solchen abgekürzten Barometer liegt für gewöhnlich das Quecksilber am verschlossenen Ende an, so daß keine Toricelli'sche Leere vorhanden ist; die Quecksilbersäule ist viel kleiner, als sie der gewöhnliche Luftdruck zu tragen vermöchte und deshalb sinkt das Quecksilber der Barometerprobe nicht bei den ersten Kolbenzügen, sondern erst dann, wenn der Luftdruck im Recipienten kleiner geworden ist, als der Höhe der Quecksilbersäule entspricht. Man benutzt die Barometerprobe, um zu erkennen, welche Verdünnung die Luftpumpe hervorbringt; steht das Quecksilber im verschlossenen Schenkel nur noch 1^{cm} höher, als im offenen, so ist der Luftdruck im Recipienten nur noch der sechsundsiebenzigste Theil des gewöhnlichen Luftdrucks, die Luft ist also auf $^1/_{76}$ verdünnt. Von einer guten Luftpumpe verlangt man, daß sie die Barometerprobe bis auf 1^{mm} herunterbringt.

Haupterforderniß einer Barometerprobe ist, daß dieselbe über dem Quecksilber keine Spur von Luft enthält, weil sie sonst ganz unrichtige Anzeigen giebt; in einer lufthaltigen Barometerprobe stellt sich das Quecksilber des verschlossenen Schenkels beim Auspumpen zu tief und kann, wenn der Recipient gut ausgepumpt ist, selbst tiefer stehen, als im offenen Schenkel.

Beim Wiederzulassen von Luft in den evacuirten Recipienten muß man vorsichtig verfahren, damit der Druck nur langsam zunimmt und das Quecksilber nicht zu heftig an das verschlossene Ende des Glasrohres anschlägt, weil es dieses sonst zerbrechen kann; man darf also den Hahn nur ganz langsam in die Stellung I bringen.

Um die Luftpumpe mittelst der Barometerprobe zu prüfen, nimmt man einen Recipienten, welcher neben der Barometerprobe noch ein kleines Trinkglas oder ganz kleines Einmachglas faßt, das man 1^{cm} hoch voll englische Schwefelsäure gießt. Die Schwefelsäure hat die Eigenschaft, Wasserdunst aus der Luft anzuziehen und dient auch hier zu Entfernung von Wasserdunst, der sich aus später zu erörternden Gründen durch bloßes Auspumpen nicht ganz entfernen läßt. Zum Trocknen der Luft läßt sich die Schwefelsäure nicht lange benutzen; wenn sie wirklich Wasser angezogen hat, wird sie wirkungslos; man schüttet sie aber nicht weg, sondern bewahrt sie in einer besonderen Flasche auf, um sie zur Wasserstoffentwickelung oder zu galvanischen Versuchen (siehe später) zu benutzen.

Eine gute Luftpumpe muß nicht nur die Barometerprobe bis auf einen Höhenunterschied der Quecksilberkuppen von 1^{mm} herunterbringen, sondern es muß auch dieser Stand unverändert erhalten bleiben, wenn man die Pumpe mit der Hahnstellung III einen Tag lang stehen läßt; genügt die Pumpe dieser Forderung nicht, so ist der Hahn oder der Teller undicht. Fällt diese Probe befriedigend aus, so dreht man jetzt den Hahn in Stellung II, dabei darf das Quecksilber der Barometerprobe nur ganz wenig steigen (wegen der aus dem schädlichen Raume stammenden Luft), muß dann aber wieder ruhig stehen bleiben, wenigstens einige Stunden lang, und zwar auch, wenn man während dieser Zeit wiederholt ganz langsam der Kolben hin- und herbewegt, ohne an der Hahnstellung zu ändern; ist dies nicht der Fall, so ist entweder die Verbindung zwischen dem Cylinder und seinem Bodenstück undicht, oder der Kolben schließt nicht mehr. Zeigt eine neue Luftpumpe einen derartigen Fehler, so gebe man sie sofort zurück, stellt sich nach längerrm Gebrauche ein Fehler ein, so wird man dessen Beseitigung einem zuverlässigen Mechaniker überlassen.

So wie das Quecksilber in einem Barometer fällt, wenn man die Luft außerhalb des Barometers mit der Luftpumpe entfernt, so muß in einer in Quecksilber getauchten Glasröhre das Quecksilber aufsteigen, wenn man diese

Röhre auspumpt und zwar nahezu so hoch, wie es im Barometer steht; könnte man mittelst der Pumpe die Röhre vollkommen luftleer machen, so müßte das Quecksilber völlig die Barometerhöhe erreichen.

Röhren oder enghalsige Gefäße verbindet man behufs des Evacuirens mit dem Röhrchen a und bedient sich dann des durch den Teller mündenden Rohres zur Verbindung des Stiefels mit der äußeren Luft. Vor dem Zurückziehen des Kolbens muß dann der Hahn die Stellung III haben und vor dem Vorwärtsschieben die Stellung II, also gerade umgekehrt, wie beim Auspumpen eines auf dem Teller stehenden Recipienten. Für den vorliegenden Versuch biegt man ein 90^{cm} langes, 2 bis 5^{mm} weites Glasrohr 5^{cm} von einem Ende rechtwinkelig um und verbindet den umgebogenen Theil durch ein Stückchen Kautschukschlauch mit dem Röhrchen a der an der Tischecke befestigten Pumpe, so daß der längere Theil des Glasrohres senkrecht neben dem Tische niederhängt. Das Glasrohr und das Röhrchen a müssen im Kautschukschlauch an einander stoßen; bleibt zwischen beiden ein freier Raum, so wird der weiche Schlauch beim Auspumpen vom äußeren Luftdruck flach zusammengepreßt und dadurch die ordentliche Verbindung beider Theile unterbrochen; paßt der Schlauch nicht ganz streng auf beide Röhren, so umbindet man ihn mit schwachem Bindfaden. Das herabhängende Ende des Glasrohres läßt man in das mit Quecksilber gefüllte Gefäß Fig. 162 eintauchen und zwar so tief, daß es aufsteht, weil es schwer wird, wenn es sich mit Quecksilber füllt und ohne Unterstützung zu stark an dem Kautschukschlauch ziehen würde. Der auszupumpende Raum ist hier sehr klein gegen den Cylinder, deshalb ist die Verdünnung schon beim ersten Kolbenzug stark genug, um das Quecksilber etwa 70^{cm} hoch aufsteigen zu lassen. Man achte sorgfältig darauf, daß das untergesetzte Gefäß genug Quecksilber enthält, um auch zuletzt noch die Mündung des Glasrohres zu sperren, denn wenn da unten Luft eintreten kann, so schleudert sie das im Rohr befindliche Quecksilber gewaltsam in die Pumpe. Nach beendigtem Versuche lasse man sehr langsam Luft eintreten (mittelst der Hahnstellung I), damit das Quecksilber im Glasrohr langsam sinkt und nicht über den Rand des Gefäßes herausgeworfen wird.

Die Gewalt des Luftdrucks recht handgreiflich zu zeigen, dienen die Magdeburger Halbkugeln. Dies sind hohle Halbkugeln aus Metall, welche mit ihren Rändern genau aufeinanderpassen und deren eine mit einem Rohransatz versehen ist, welcher durch einen Hahn abgesperrt werden kann; dieser Rohransatz hat ein auf die Schraube des Luftpumpentellers passendes Gewinde. Bestreicht man die Ränder der Halbkugeln mit etwas Talg, setzt sie aufeinander und pumpt sie aus, so werden sie durch den äußeren Luftdruck fest gegeneinander gepreßt; nachdem man den Absperrhahn geschlossen hat, schraubt man sie von der Pumpe ab und kann dann durch Personen oder durch Gewichte an den daran sitzenden Handgriffen ziehen lassen, um die Stärke dieses Druckes zu erproben; es beträgt die zum Auseinanderreißen nöthige Kraft bei einem Durchmesser der Höhlung von 5^{cm} ohngefähr 20^{kgr}, bei 10^{cm} Durchmesser 80^{kgr}, bei 20^{cm} Durchmesser mehr als 300^{kgr}, wie sich leicht ergiebt, wenn man den Inhalt der Kreisfläche berechnet, welche den Querschnitt der Kugel bildet und die Anzahl Quadratcentimeter, welche diese Fläche enthält, mit der Größe des Luftdrucks auf $1\square^{cm}$ (nahezu 1^{kgr}) multiplicirt.

Es ist zweckmäßig, die Ränder der beiden Halbkugeln nicht ihrer ganzen Breite nach eben zu machen, sondern der einen Halbkugel einen schmalen, rund herum laufenden Vorsprung zu geben, damit sich die Halbkugeln nicht seitlich gegen einander verschieben können. Beim Versuche mache man den Zug nicht so stark, daß ein Auseinanderreißen stattfindet, weil man dabei leicht mit einer Halbkugel irgendwo anschlägt und dieselbe dabei verdirbt; um die beiden Hälften leicht wieder auseinandernehmen zu können, braucht man nur den Hahn zu öffnen. Infolge der Adhäsion

engeren Rohrstückchen versehen ist, in welche der Cylinder und das Saugrohr eingekittet sind, das Saugventil v ist eine aus Wachstaffet gebildete Klappe.

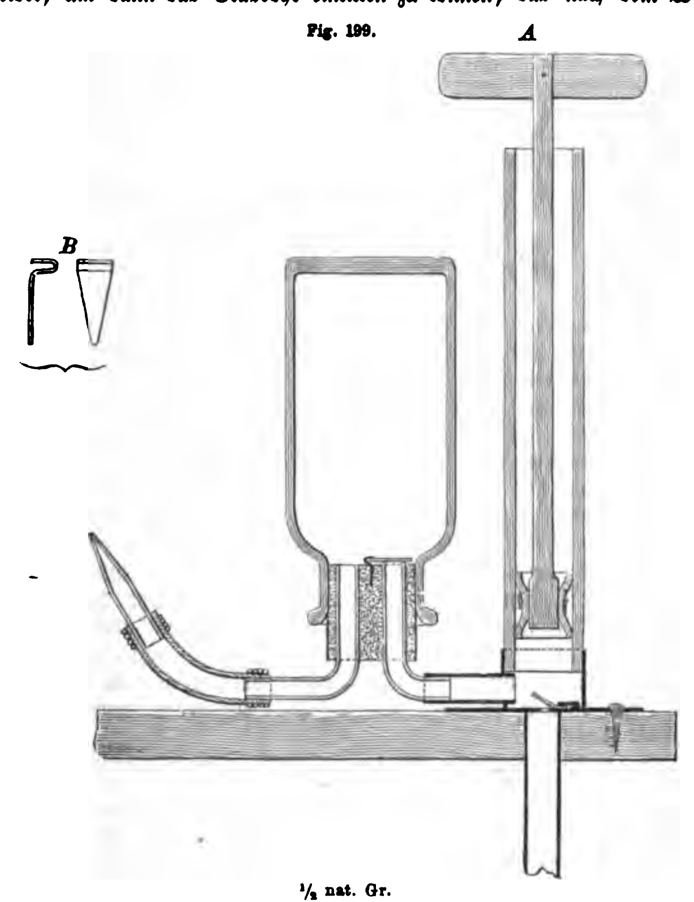
Aus Zinkblech von $0^{mm},5$ bis $0^{mm},75$ Dicke schneidet man eine kreisförmige Scheibe von 5^{cm} Durchmeter, schlägt in der Mitte ein Loch 3^{mm} Weite hindurch und versieht sie auch am Rande mit einigen Löchern, um sie später mit Holzschrauben auf ein Brett aufschrauben zu können. Die aufgeworfenen Ränder der Löcher klopft man mit dem Holzhammer eben und macht insbesondere das mittlere Loch unter Anwendung von Reibahle und Feile recht schön glatt und frei von allem Grat. Ein 5^{cm} langes, 25^{mm} breites Streifchen Zinkblech klopft man über ein Holzstückchen oder ein Stückchen Rundeisen zu einem Röhrchen zusammen, löthet die etwas übereinandergreifenden Ränder fest, indem man das Röhrchen wagrecht über die Lampe hält; dann feilt man es an den Enden gut eben, stellt es auf die Mitte der wagrecht über die Lampe gehaltenen Blechscheibe und löthet es auf dieser fest. Ferner wird ein 2^{cm} breiter Blechstreif, dessen Länge 3,5 mal so groß ist, als der äußere Durchmesser des Glasrohres, zu einem kurzen Rohr zusammengebogen, verlöthet und auf die Blechscheibe aufgelöthet. Man hält dabei das längere Rohr mit einer Zange oder Pincette senkrecht, so daß die Blechscheibe oben ist und auf dieser das weitere Rohr steht; damit beim Löthen sich nichts verschiebt, kann man einen dünnen Eisendraht oben quer über das weitere Rohr führen, ihn beiderseits abwärts biegen und unterhalb des engeren Rohres zusammendrehen. Beim Auflöthen des weiteren Rohres löthet man auch gleich den kleinen Blechbügel B (Fig. 198 C) mit auf, der zur Befestigung der Ventilklappe dient; man macht denselben etwa 6^{mm} breit, die übrigen Dimensionen desselben sind aus der Figur zu ersehen. Man bringe nur soviel Loth auf, daß alle Nähte ordentlich ausgefüllt werden, ein Ueberschuß von Loth läuft leicht in die Höhlung des kleinen Bügels B und füllt diese aus oder er bildet Unebenheiten auf dem inneren Theil der Blechscheibe, die den ordentlichen Schluß der Ventilklappe hindern. Nach dem Löthen wäscht man mit Wasser jede Spur von Lothwasser weg, trocknet das Wasser ab und erwärmt die Blechröhrchen so weit, daß etwas Siegellack schmilzt, welches man in sie hineinbringt. Nachdem man jedes Röhrchen innen mit einem etwa 1^{mm} dicken, 6 bis 8^{mm} breiten Siegellackrand versehen hat, läßt man erkalten und befestigt dann ein 8^{mm} breites, 10 bis 12^{mm} langes Stückchen von gelbem, durchsichtigen Wachstaffet v in der aus Figur 198 C ersichtlichen Weise, indem man es mit einem Ende unter dem kleinen Bügel B schiebt und diesen mit einem stumpfen Werkzeug (Durchschlag oder dergl.) stark zusammendrückt, so daß er das Taffetstückchen festklemmt. Hierauf setzt man das als Cylinder dienende Rohr, das womöglich oben und unten etwas abgeschliffen worden ist und ein dünneres, gleichfalls gläsernes Saugrohr von beliebiger Länge in die Blechhülse ein, indem man die erwärmten Glasröhren in die mit Siegellack ausgekleideten Rohrstückchen hineinschiebt, diese Blechtheile selbst aber nicht unmittelbar erwärmt, um nicht den Wachstaffet zu verderben. Anstatt des Wachstaffets kann auch ein dünnes, ebenes Kautschukblättchen dienen, wie man es von einem zerrissenen Kautschukbändchen nehmen kann.

Auf das obere Ende des Glascylinders kittet man einen Blechansatz, der mit einem seitlichen Abflußrohr versehen ist; das Loch für dieses Abflußrohr bringt man in dem Blech an, ehe man es rund zusammenbiegt. Das durchbohrte Brettchen, auf welches man die Pumpe aufsetzt und mit Holzschrauben befestigt, kann man mit vier Füßen versehen, um ein Wassergefäß darunter aufzustellen, wenn man sich mit einem kurzen Saugrohr begnügen will; man kann aber auch die Füße weglassen und ein 70 bis 80^{cm} langes Saugrohr nehmen; dann klemmt man mit einer Schraubzwinge das Brettchen am Rande des Tisches so an, daß es theilweise vorsteht und läßt das Saugrohr in ein auf dem Fußboden stehendes Wassergefäß tauchen.

Das Abwärtsbewegen des Kolbens darf nicht allzu schnell geschehen, damit nicht das durch den schmalen Raum zwischen Kolben und Glaswand gesperrte Wasser über den Cylinder herausspritzt; der Kolben muß, ehe man ihn in den Cylinder schiebt, benetzt werden und darf nach dem Gebrauch nicht darin bleiben, sondern muß außerhalb desselben aufbewahrt werden, weil das Kautschuk beim Trockenwerden leicht so fest am Glase anklebt, daß es nicht unverletzt wieder abgelöst werden kann.

Eine Druckpumpe mit Windkessel, aber mit nur einem Cylinder, Fig. 199 A, ist auch ohne große Schwierigkeiten herzustellen. Der Cylinder wird ebenfalls von Glas genommen; die Blechhülse mit dem Saugventil unterscheidet sich von der der Saugpumpe nur dadurch, daß sie mit einem seitlichen Ansatzrohr versehen ist; dieses Rohr läßt man am besten in das weitere Rohr etwas hineinragen und macht die Oeffnung für dasselbe nur so weit, daß es streng hineinpaßt, damit es während des Löthens durch die Reibung hält und nicht besonders mit Draht festgebunden zu werden braucht. Auch das seitliche Ansatzrohr wird vor dem Einsetzen der Ventilklappe mit Siegellack ausgekleidet, um dann das Glasrohr einkitten zu können, das nach dem Windkessel

Fig. 199.



½ nat. Gr.

führt. Dieser wird durch ein nicht zu kleines Opodeldocglas gebildet, für das man einen recht guten, streng passenden Kork sucht, der doppelt durchbohrt wird. Das Glasrohr, welches denselben mit dem Pumpencylinder verbindet, muß an seinem aufgebogenen Ende recht eben abgeschnitten und glatt verschmolzen sein, man läßt es höchstens $0^{mm},5$ über den Kork vorstehen und bringt darüber eine kleine Ventilklappe aus Wachstaffet oder Kautschuk an, die man in ein Blechstreifchen von der Form Fig. 199 B einklemmt, das mit seinem unteren, spitzen Ende in den Kork gesteckt wird. Ein zweites, durch den Kork gehendes Glasrohr ist unten wagrecht umgebogen; durch ein Stückchen Kautschukschlauch ist es mit einem zu einer feinen Spitze ausgezogenen Röhrchen verbunden, das als Spritzenmundstück dient; der Kautschuk-

schlauch wird auf beiden Röhrchen festgebunden, damit diese nicht infolge des Wasserdrucks herausfahren. Den Kolben dieser Pumpe macht man ebenfalls aus Kautschukschlauch, den man aber nicht an seinem Ende, sondern in der Mitte zusammenschnürt, damit er nach beiden Seiten hin eine Erweiterung bildet und nach keiner Richtung dem Wasser den Durchgang gestattet. Das Brettchen, welches diese Pumpe trägt, wird man jedenfalls an den Tisch anklemmen, damit man es nicht festzuhalten braucht und eine Hand für die Kolbenbewegung, die andere für die Handhabung des Mundstücks frei hat.

Beide Pumpen kann man, um den Kolbenstangen einige Führung zu geben, oben mit Korken verschließen, die so weit durchbohrt sind, daß die Kolbenstangen leicht und ohne zu schließen hindurchgehen.

Die Saugröhren können auch, anstatt eingekittet, mit Kautschukschlauch an die blechernen Rohransätze befestigt werden, um sie zur bequemeren Aufbewahrung der Pumpen abnehmen zu können; der Kautschukschlanch muß aber auf den Blechröhren festgebunden werden, weil er sonst an der Stelle, wo die Blechränder übereinandergreifen, nicht dicht schließt.

30. Reaction und Schraubenwirkung bei Gasen; Saugerscheinungen beim Ausströmen. Beim Ausströmen von gasigen Körpern findet ebenso, wie bei tropfbaren, ein rückwirkender Druck statt; bei den Feuerwerken ist die Reaction der gewaltsam ausströmenden Gase, die durch das Verbrennen des Pulvers entstehen, die Ursache für das Aufsteigen der Raketen, für die Drehung der Feuerräder und für das Umherfahren in die Luft geworfener Schwärmer. Ein Reactionsrad, das durch Dampf getrieben wird, werden wir in der Wärmelehre kennen lernen.

Schraubenräder verhalten sich in der Luft ganz ähnlich, wie im Wasser; die Windmühlenflügel, die man im Großen anwendet und die kleineu aus Papier oder einem Kork und Federn hergestellten Windmühlen, die als Spielzeug dienen, sind nichts anderes als Schraubenräder, die durch einen Luftstrom in Umdrehung versetzt werden; in den Ecken der Fenster findet man an manchen Orten kleine, blecherne Schraubenräder in runde Oeffnungen eingesetzt, die sich beim Durchströmen der Luft sehr rasch umdrehen; den von Lichtflammen aufsteigenden Strom warmer Luft benutzt man in manchen Gegenden, um Weihnachtspyramiden (sogenannte Drehthürme) in Drehung zu versetzen. Eine sehr einfache Luftschraube erhält man, wenn man eine Spirale von Papier auf einer Stricknadel balanciren läßt, Fig. 200 A; der von einer kleinen Flamme aufsteigende Luftstrom genügt, dieselbe in Drehung zu versetzen.

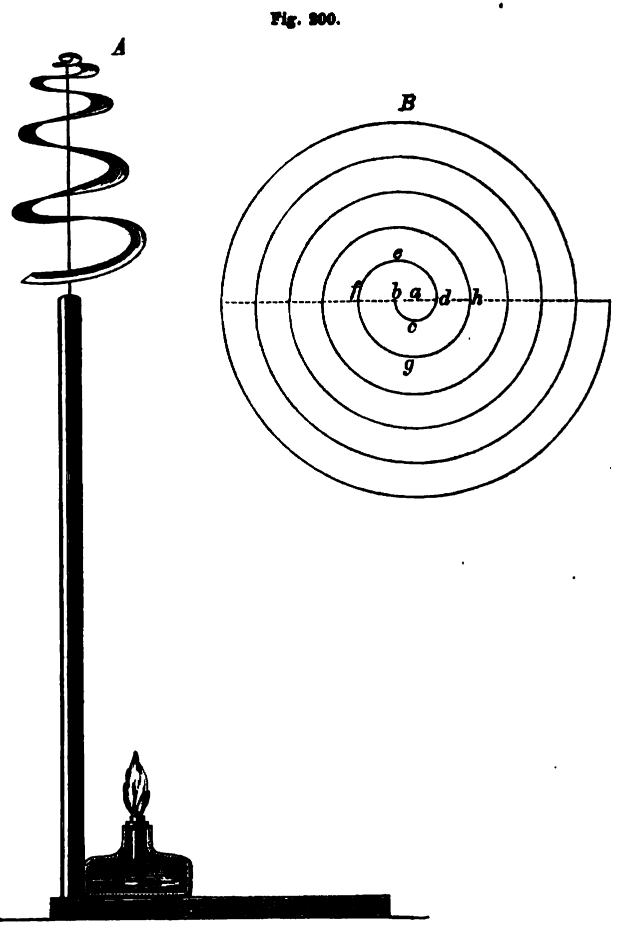
Fig. 200 B deutet an, wie man sich eine solche Spirale vorzeichnen kann; von a aus beschreibt man den Bogen b c d, von b aus den Bogen d e f, wieder von a aus den Bogen f g h, u. s. f.; zwischen a und b macht man mit der stumpfen Spitze einer Stricknadel einen flachen Eindruck in das steife Papier, aus dem man die Spirale schneidet; die Stricknadel steckt man mit einem Ende in ein Loch, das man mit einer Pfrieme in den Stab eines Retortenhalters gestochen hat und setzt die Spirale mit der Vertiefung auf das obere Ende der Nadel auf, durch ihr Gewicht nimmt sie von selbst die in Fig. 200 A gezeichnete Form an.

Wird ein leichtes Schraubenrad in sehr schnelle Umdrehung versetzt und dabei nicht an seiner Stelle festgehalten, so bewegt es sich in der Luft fort und vermag sich sogar in die Höhe zu erheben. In Spielwaarenhandlungen bekommt man unter dem Namen Flugmaschinen kleine, blecherne Luftschrauben, die durch eine, in einem Gehäuse befindliche Stahlfeder in schnelle Umdrehung versetzt werden können und, nachdem sie von dieser Feder losgelöst worden sind, ein Stück in die Luft fliegen, indem sie sich infolge des Beharrungsvermögens eine Zeit lang fortdrehen. Eine andere Art von

Schraubenfliegern wird durch Abziehen eines um ihre Axe gewickelten Bindfadens in Drehung versetzt.

Ein kreisförmiges Stück ganz dünnes Weißblech von etwa 9cm Durchmesser wird in der Mitte mit einem Loch und mit 6 von außen bis nicht ganz in die Mitte reichenden Einschnitten versehen, ähnlich wie Fig. 146 B und dann zu einem Schraubenrad, ähnlich dem in Fig. 146 A gebogen. Damit dasselbe nicht zu leicht Gegenstände beschädigt, an welche es beim Fliegen etwa anstößt, schneidet man die Ecken bogenförmig ab und damit es sich selbst nicht zu leicht verbiegt, löthet man einen 6mm breiten Ring von dem nämlichen Blech rund um dasselbe fest; bei einem Durchmesser des Schraubenrades von 9cm setzt man diesen Ring aus zwei 15cm langen Streifchen zusammen, damit er an zwei gegenüberliegenden Punkten Löthstellen hat und nicht durch eine einzelne Löthstelle einseitig schwerer wird. Der Ring muß sich mit mäßiger Reibung auf das Schraubenrad schieben lassen; damit beim Auflöthen desselben die ersten beiden Löthstellen nicht wieder aufgehen, legt man um denselben herum einen dünnen Eisendraht, der später wieder entfernt wird. Fig. 201 A zeigt das Schraubenrad sammt der Vorrichtung zum Loslassen, bei B ist der mittlere Theil im Durchschnitt gezeichnet. Eine 4cm lange Axe a aus 3 bis 4mm dickem Stahldraht wird von oben bis in die Mitte mit Schraubengewinde versehen und 1cm über ihrem unteren Ende 1mm,5 weit durchbohrt. Auf das Gewinde wird eine kleine Messingblechscheibe, 1cm im Durchmesser, 2mm dick, aufgeschraubt, durch das Loch ein Messingdraht, 1cm lang, gesteckt; auf die Messingscheibe kommt das Schraubenrad zu liegen und dann wird alles dies verlöthet. Die Messingscheibe ohne Schraubengewinde aufzulöthen oder sie ganz wegzulassen und das Schraubenrad unmittelbar an die stählerne Axe zu löthen ist unzweckmäßig, weil die Axe, wenn sie nicht sehr gut befestigt ist, sich leicht losreißt.

Fig. 200.

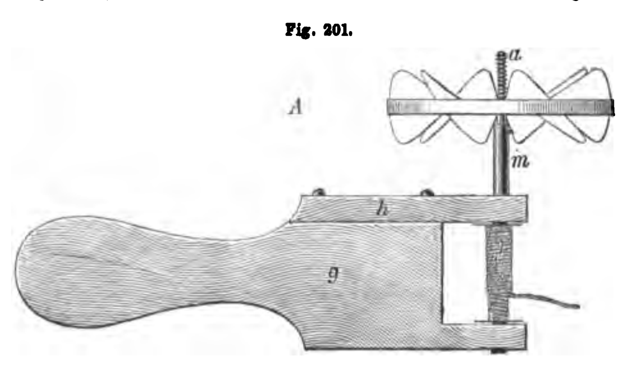


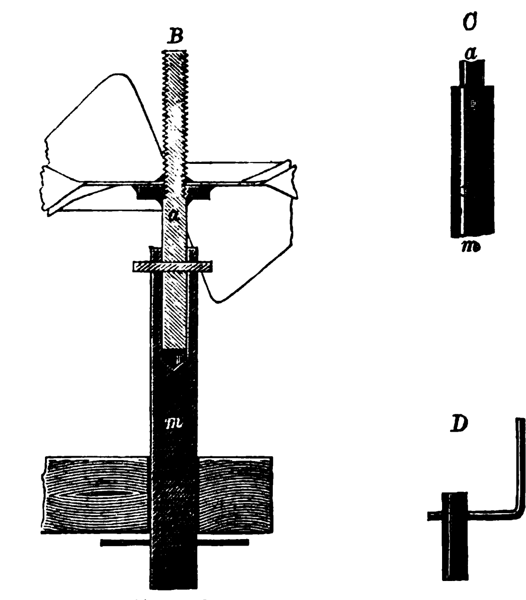
A 1/4 nat. Gr. B 1/2 nat. Gr.

In ein 6mm dickes, 9cm langes Stück Messingdraht m bohrt man von einem Ende her ein 15mm tiefes Loch von solcher Weite, daß die Axe a ganz leicht hinein-

geht, dann feilt man einen Einschnitt 3^{mm} tief und so breit, daß er den quer durch die Axe gehenden Messingdraht bequem aufnimmt, wie bei C noch deutlicher, als bei B zu sehen ist. 12^{mm} vom unteren Ende wird das Messingstück quer durchbohrt, 1^{cm} vom unteren und 4^{cm} vom oberen Ende werden Blechscheiben von 2^{cm} Durchmesser aufgelöthet, so daß der mittlere Theil des Messingstücks eine kleine Spule bildet. Aus hartem Holze läßt man sich zwei Stücke von der Form g und h, Fig. 201 A herstellen; dieselben werden etwa 12^{mm} dick gemacht, am Ende 6^{mm} weit durchbohrt und, nachdem man das Messingstück dazwischen gebracht hat mit Hülfe zweier Holzschrauben fest verbunden.

Fig. 201.





$^1/_4$ nat. Gr. B, C, D nat. Gr.

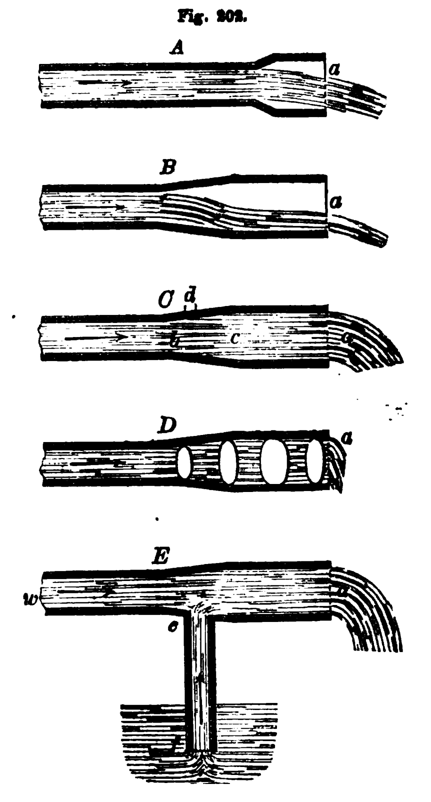
Eine $1^m,5$ lange, feste, aber dünne Schnur wickelt man in 30 Windungen um das Messingstück herum; ein Ende desselben schiebt man erst durch das Loch in der Nähe der unteren Blechscheibe und läßt dann die einzelnen Windungen hübsch glatt und dicht nebeneinanderliegen; 30 Windungen dürfen höchstens 2 Lagen bilden. Das Wickeln erleichtert man sich sehr mit einer kleinen Kurbel, Fig. 201 D aus einem Endchen Stahldraht von 3 bis 4^{mm} Dicke und einem darin befestigten, winkelförmig gebogenen Messingdraht; diese Kurbel bringt man in die obere Höhlung von m und ersetzt sie erst nach dem Aufwickeln des Bindfadens durch das Schraubenrad. Bei diesem Aufwinden hat man darauf zu achten, daß es in solcher Richtung geschieht, daß beim nachherigen Abziehen das Schraubenrad sich wirklich in der Luft nach oben schraubt; der Flieger Fig. 201 ist eine linksgängige Schraube, muß also von oben gesehen nach rechts (d.i. wie ein Uhrzeiger) gedreht werden, wenn er aufsteigen soll, deshalb muß die Schnur nach links gewunden, d. h. die kleine Kurbel einem Uhrzeiger entgegengesetzt gedreht werden. Ferner suche man es so einzurichten, daß die letzte Windung der Schnur an die Blechscheibe anzuliegen kommt, so daß man sie zwischen

diese und die vorletzte Windung etwas einklemmen kann, damit nicht von selbst ein Aufwickeln eintritt.

Ist alles soweit vorgerichtet, so faßt man den Griff g mit der linken Hand, streckt den Arm wagrecht aus und zieht dann mit der rechten Hand die Schnur kräftig ab; der Flieger erhebt sich, wenn man ihn im Freien senkrecht steigen läßt bis zu 10^{m} (zwei und ein halb Stockwerk) hoch und kommt nach 6 bis 8 Secunden wieder unten an; im Zimmer steigt er schnell an die Decke, prallt von da nach dem Fußboden zurück und dreht sich hier wie ein Kreisel fort.

Eigenthümliche Erscheinungen zeigen sich bei tropfbaren und gasigen Körpern, wenn sie aus engen Röhren oder Oeffnungen in weitere Röhren, bei Gasen auch, wenn sie in den freien Raum ausströmen. Läßt man in einem luftleeren Raume Wasser durch ein Rohr strömen, das sich kurz vor der Ausflußmündung erweitert, so füllt das Wasser den weiteren Theil nicht völlig aus, der Strahl springt entweder frei durch denselben hindurch, Fig. 202 A, oder zieht sich, wenn eine beträchtliche Adhäsion an der Röhre stattfindet, an einer Wand derselben hin, Fig. 202 B. Würde man durch Vorhalten irgend eines Gegenstandes vor die Mündung a zeitweise den Abfluß des Wassers hemmen, so würde sich das weitere Rohr vorübergehend ganz anfüllen, beim Entfernen des vorgehaltenen Hemmnisses aber die frühere Ausflußweise wieder eintreten.

Fig. 202.

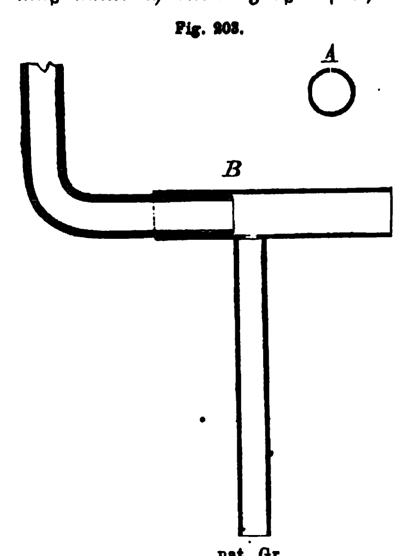


Der Grund davon ist leicht einzusehen. Wenn Wasser durch zwei verschieden weite Röhren mit gleicher Längsgeschwindigkeit strömen soll, d. h. so, daß ein Wassertheilchen in dem engern Rohr in jeder Secunde um ebenso viele Centimeter vorwärts rückt, wie in dem weiteren Rohr, so muß natürlich durch das weitere Rohr eine größere Wassermenge strömen, als durch das engere; soll aber durch das weitere Rohr nur ebenso viel durchströmen, als durch das enge, so muß die Geschwindigkeit in dem weiten Rohr eine kleinere sein, als in dem engen. Wegen des Beharrungsvermögens wollen aber die aus dem engeren Rohre kommenden Wassertheilchen ihre Geschwindigkeit unverändert beibehalten, sie können also nur einen Strahl von demselben Querschnitt bilden, wie ihn das enge Rohr hat, nicht aber das weitere Rohr ganz ausfüllen.

Etwas anders verhält sich die Sache, wenn der Ausfluß in einen lufterfüllten Raum stattfindet. Solange man den Strahl sich selbst überläßt, fließt er auch jetzt noch wie in Fig. 202 A oder B aus, hemmt man aber seinen Ausfluß etwas, indem man die Oeffnung a theilweise mit dem Finger verschließt, so läuft der Strahl nach dem Wegnehmen des Fingers voll,

Fig. 202 C. Der Luftdruck verhindert, daß sich das weitere Rohr wieder theilweise entleert; das Wasser müßte, wenn es bei a in der ganzen Weite des Rohres ausfließen und doch dieselbe Längsgeschwindigkeit, wie im engen Rohre, behalten sollte, zwischen b und c in einzelne Schichten zerreißen, Fig. 202 D, ein solches Zerreißen findet aber nicht statt, weil dabei leere Räume entstehen müßten; dies ist wegen des bei a wirkenden Luftdrucks nicht möglich. Das Wasser muß also eine kleinere Geschwindigkeit annehmen; das Bestreben aber, die größere Geschwindigkeit beizubehalten und zwischen b und c zu zerreißen macht sich dadurch geltend, daß an dieser Stelle ein sehr geringer Druck im Wasser stattfindet; dieser Druck kann bei passender Form der Röhren und genügender Geschwindigkeit des Wassers sogar kleiner sein, als der Druck, mit dem das Wasser bei a ausfließt. Der letztere Druck muß natürlich etwas größer sein, als der äußere Luftdruck, wenn überhaupt ein Ausfließen stattfinden soll, zwischen b und c aber kann der Druck kleiner und zwar beträchtlich kleiner sein, als der äußere Luftdruck. Bringt man bei d eine Oeffnung an, so fließt da kein Wasser aus, sondern die Luft, deren Druck größer ist, strömt in das Rohr hinein und der Strahl fließt wieder wie in Fig. 202 B.

Fig. 203.



nat. Gr.

Ebenso gut, wie an der oberen Seite bei d, kann die Oeffnung auch an der unteren Seite bei e angebracht werden und wenn man da ein nicht zu langes Rohr e f einsetzt, Fig. 202 E, das in ein offenes Gefäß mit Wasser eintaucht, so vermag der Luftdruck auf die freie Oberfläche des Wassers dieses in dem Rohr e f zu heben und zu bewirken, daß es in das weitere Rohr steigt und mit dem anderen Wasser ausfließt; man bezeichnet diese Wirkung des durch eine Rohrerweiterung fließenden Strahles als **Saugwirkung**; andere Flüssigkeiten als Wasser sind natürlich ebenso gut im Stande, solche Saugerscheinungen zu bewirken.

Am besten läßt sich dieser interessante Versuch anstellen mit Hülfe einer kleinen Wasserleitung, wie sie in §. 27 beschrieben ist; allenfalls genügt aber auch der Druck einer 1^{m} hohen Wassersäule, um in einem 4 bis 5^{mm} weiten Glasrohre die nöthige Geschwindigkeit zu erzeugen. Ein Rohr von solcher Weite und etwa 1^{mm} Wandstärke versieht man an einem Ende mit einem Ausflußrohr, das man aus Zinkblech in solcher Weise zusammenbiegt, daß es sich eben noch über das Glasrohr schieben läßt; da dieses Zinkrohr nicht viel auszuhalten hat, legt man die Ränder des benutzten Blechstückchens nicht übereinander, sondern läßt sie nur genau aneinanderstoßen, wie Fig. 203 A; wenn man die Fuge mit Lothwasser bestreicht, ein kleines Stückchen Schnellloth darauf legt und dann mit der Lampe vorsichtig erhitzt, läuft das Loth durch die ganze Länge der Fuge und schließt sie. 20^{mm} von dem zur Ausflußmündung bestimmten Ende wird ein etwas engeres, 4 bis 5^{cm} langes Blechröhrchen angelöthet; dasselbe muß aber außen angesetzt, nicht in das weitere Rohr hineingesteckt werden; damit es ordentlich an dieses paßt, feilt man es am oberen Ende etwas rundlich aus, ehe

man es anlöthet. Diese engen Röhrchen klopft man am besten über ein cylindrisches Stück von Holz oder Metall, einen sogenannten Dorn, mit dem Holzhammer zurecht, durch bloßes Biegen erhält man sie nicht schön und rund; will man das Zinkblech recht weich machen, so erhitzt man es vor der Bearbeitung bis zum Schmelzpunkte des Schnellothes. Nachdem man gelöthet, das Löthwasser weggewaschen und getrocknet hat, kittet man mit Siegellack auf das Glasrohr und zwar so, daß das Ende des Glasrohrs ganz nahe an das enge, abwärtsgehende Rohr kommt, wie Fig. 203 B zeigt. Dabei verfährt man aber umgekehrt, wie beim Einkitten der als Pumpencylinder dienenden Glasröhren; man erwärmt nämlich zuerst das Glasrohr, trägt eine Siegellackschicht auf und schiebt, nachdem dies erkaltet ist, das erwärmte Blechrohr auf; wollte man auf die früher beschriebene Art verfahren, so würde sich in dem Blechrohr ein Wulst von Siegellack ansetzen und eine beträchtliche Verengerung veranlassen gerade an der Stelle, wo sich das Rohr erweitern soll; um eine Verengerung zu vermeiden, wird auch das eingekittete Ende des Glasrohrs nicht vor der Lampe glatt geschmolzen, sondern scharfkantig gelassen. An den aufwärts gebogenen Theil des Glasrohrs bringt man (1^m über der Ausflußmündung) eine Vorrichtung zum Eingießen von Wasser wie in Fig. 141 oder 155 an; zweckmäßig ist es, wenn mann nicht das enge Rohr 1^m lang nimmt, sondern es etwa einige Centimeter über der Biegung mit Hülfe von Siegellack oder Kautschukschlauch an ein weiteres Rohr ansetzt und dieses oben mit dem Einguß versieht; ein solch weiteres Rohr (8 bis 10^{mm}) wird nicht so leicht durch das Gewicht des im Einguß befindlichen Wassers zerbrochen, wenn man es mit seinem unteren Theile in einen Retortenhalter festklemmt und bietet für das durchgehende Wasser eine geringere Reibung, als ein engeres Rohr, so daß das Wasser eine größere Geschwindigkeit annimmt. Bedient man sich der Wasserleitung, so läßt man das Glasrohr gerade, 8 bis 10 ^{cm} lang und kittet nur etwa am Ende ein kurzes Stück dickeres Rohr auf, um den zur Verbindung dienenden Schlauch festschließend aufschieben zu können.

Vor die Ausflußmündung des Apparates stellt man ein geräumiges Gefäß (Schüssel) zum Auffangen des Wassers; das abwärtsgehende Röhrchen läßt man in ein flaches Schälchen (Untertasse) mit Wasser tauchen, welches durch etwas Fuchsinlösung stark roth gefärbt worden ist. Von einem Gehülfen läßt man den Einguß mit Wasser füllen und voll erhalten; sobald der Strahl bei a ausfließt, hält man den Finger vor, bis aus dem Blechröhrchen die Luft herausgedrängt ist; nach dem Wegnehmen des Fingers fließt bei a ein voller Wasserstrahl aus, der durch die aus dem Schälchen heraufgesaugte Flüssigkeit schön roth gefärbt ist und wenn man den Versuch einige Zeit im Gange hält, so wird das Schälchen vollkommen entleert. Durch den vorgehaltenen Finger darf man die Mündung a nicht verschließen, sondern nur verengen, weil man sonst das Entweichen der Luft, die entfernt werden soll verhindern und das Wasser durch das enge Rohr in das Schälchen treiben würde.

In ähnlicher Weise, wie ein Strom einer tropfbaren Flüssigkeit, wirkt auch ein Luftstrom saugend, der aus einem engeren in ein weiteres Rohr tritt; bläst man in das engere Rohr der in Fig. 202 E oder Fig. 203 B dargestellten Vorrichtung einen kräftigen Luftstrom mittelst eines angesetzten Kautschukschlauches hinein (in Fig. 202 E bei w), so wird ebenfalls das Wasser in dem senkrechten Rohr gehoben und bei a in kleinen Tropfen herausgeschleudert.

Recht auffällig zeigt sich die Saugwirkung eines Luftstromes, wenn man denselben sich ausbreiten läßt zwischen zwei ebenen Platten; einen kleinen Apparat für diesen Zweck zeigt Fig. 204 A. Eine kreisrunde Pappscheibe von 10^{cm} Durchmesser ist in der Mitte mit einem Loch versehen; ein rechtwinkelig umgebogenes, etwa 8^{mm} weites Glasrohr ist in einen Kork gepaßt und dieser auf die Pappe geleimt, so daß die Mündung der Glasröhre gerade auf das Loch zu stehen kommt; eine zweite Scheibe von starkem Papier oder dünner Pappe wird durch 3 Fäden in einem Abstand von 10^{mm}

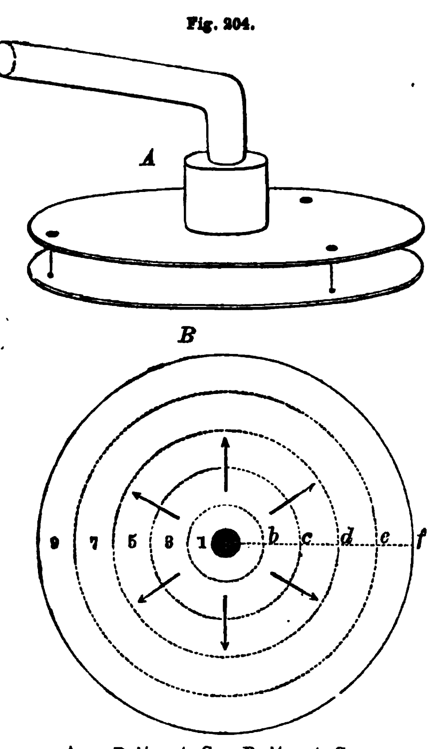
von der ersten gehalten. Bläst man mit dem Munde einen recht kräftigen Luftstrom durch das Glasrohr, so fährt die Luft zwischen den Platten strahlenförmig nach allen Richtungen auseinander, wie es die Pfeile in Fig. 204 B andeuten. Wegen des Beharrungsvermögens wollen die Lufttheilchen dabei immer die nämliche Geschwindigkeit beibehalten, sie wollen von b nach c in derselben Zeit gelangen, wie von a nach b und von c nach d wieder in derselben Zeit u. s. f.

Die Flächeninhalte der in Fig. 204 B gezeichneten Kreise von 1, 2, 3, 4 und 5^{cm} Halbmesser sind $1 \cdot 1 \cdot 3{,}14$, $2 \cdot 2 \cdot 3{,}14$ u. s. f., also 3,14, 12,56, 28,26, 50,24 und 78,50 Quadratcentimeter und die Inhalte der einzelnen ringförmigen Streifen zwischen den Kreisen

$$12{,}56 - 3{,}14 = 9{,}42 = 3 \cdot 3{,}14$$
$$28{,}26 - 12{,}56 = 15{,}70 = 5 \cdot 3{,}14$$
$$50{,}24 - 28{,}26 = 21{,}98 = 7 \cdot 3{,}14$$
$$78{,}50 - 50{,}24 = 28{,}26 = 9 \cdot 3{,}14.$$

Sollen nun die Lufttheilchen wirklich ihre Geschwindigkeit unverändert beibehalten, so muß die Luftmenge, welche in einem gewissen Zeitpunkte den inneren Kreis von $1 \cdot 3\square^{cm},14$ erfüllt, einen Augenblick später den Ring von $3 \cdot 3\square^{cm},14$, wieder einen Augenblick später den Ring von $5 \cdot 3\square^{cm},14$ ausfüllen u. s. f., d. h. sie muß sich auf den 3=, 5=, 7=, 9=fachen Raum ausdehnen, also auf $^1/_3$, $^1/_5$, $^1/_7$, $^1/_9$ verdünnen. Bei einer solchen Ausdehnung muß natürlich auch der Druck dieser Luft sich auf $^1/_3$ bis $^1/_9$ von der Größe verringern, die er im Mittelpunkte des Kreises hat. Wenn nun der Druck, mit dem die Luft aus der Röhre zwischen die Platten strömt, wesentlich größer ist, als der äußere Luftdruck, so verdünnt sich bei dem strahlenartigen Auseinanderfahren die Luft wirklich so stark, daß sie einen beträchtlich kleineren Druck erhält, als der äußere Luftdruck ist. Die Geschwindigkeit der Lufttheilchen nimmt aber von der Mitte nach dem Rande zu ab und der Druck verringert sich nicht so stark, als es unserer obigen Rechnung nach der Fall sein sollte, weil am Umfange der runden Platten die äußere Luft dem Herausfahren des ausgebreiteten Luftstromes einen beträchtlichen Widerstand entgegensetzt; immerhin wird der Druck in dem größten Theile des Raumes zwischen den Platten wesentlich kleiner, als der äußere Luftdruck. Die Folge davon ist eine sehr auffällige Erscheinung: der größere äußere Luftdruck treibt

Fig. 204.

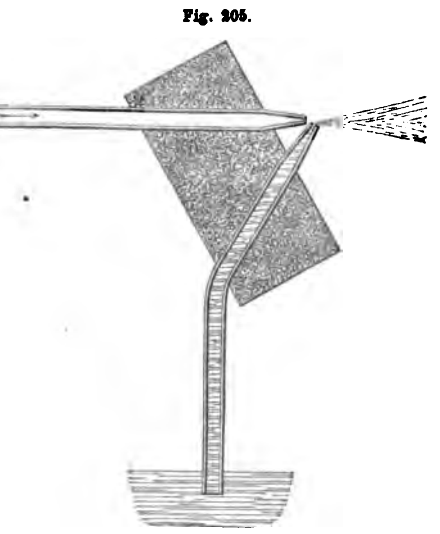


A. a. P. $^1/_2$ nat. Gr. B. $^1/_2$ nat. Gr.

die beweglich aufgehängte Platte dem geblasenen Luftstrome entgegen und bringt sie nahe bis an die feste Platte; erst wenn man aufhört, hinlänglich stark zu blasen, fällt sie zurück.

Auch ohne daß man, wie es hier durch die Platten geschieht, dem Luftstrome eine bestimmte Art vorschreibt, wie er sich ausbreiten muß, findet eine ähnliche Ausbreitung statt, wenn überhaupt Luft mit einigem Ueberdruck aus einer Oeffnung strömt. Während die aus einer Oeffnung herausgetriebene tropfbare Flüssigkeit einen nahezu gleichförmig dicken Strahl bildet, verbreitet sich die Luft, wie man an aus einer Röhre geblasenem Dampf oder Rauch sehen kann, kegelförmig. Die aus der Oeffnung fahrenden Lufttheilchen bewegen sich zunächst in gerader Richtung vorwärts; da sie aber dichter sind, als die äußere Luft, fahren sie zugleich seitlich auseinander, indem sie sich verdünnen. Solange der Druck in den austretenden Theilen noch größer ist, als der äußere Luftdruck, so lange werden sie auch noch auseinandergetrieben, d. h. so lange nimmt ihre auseinandergerichtete Geschwindigkeit noch zu. Infolge des Beharrungsvermögens dauert die Auseinanderbewegung auch dann noch eine kurze Zeit, wenn der Druck der Lufttheilchen dem Druck der umgebenden Luft gleich geworden ist; die ausfahrende Luft wird infolge davon etwas verdünnt, ihr Druck wird etwas kleiner, als der atmosphärische. Auf seinem weiteren Wege wird der Luftstrom allerdings durch den ihm (hauptsächlich von vorn) entgegenwirkenden Widerstand der äußeren Luft auf die gewöhnliche Dichte zusammengedrückt, an einer gewissen Stelle, nahe an der Ausflußmündung, zeigt sich aber in der That dünnere Luft und ein kleinerer Druck; an dieser Stelle strömt deshalb von der Seite her Luft zu und vermischt sich mit der ausströmenden, von der sie dann mit fortgerissen wird.

Fig. 205.



½ nat. Gr.

Führt man von der Seite her ein Rohr in diese Stelle eines austretenden Luftstromes ein, so strömt die Luft auch durch dieses zu und vermag selbst schwerere Körper mit sich fort zu nehmen.

Eine 9 bis 10^{cm} lange, 2 bis 3^{mm} weite Glasröhre wird in der Mitte dünn ausgezogen, durchschnitten und der eine Theil stumpfwinkelig gebogen; dann werden beide Theile durch passend gebohrte Löcher eines Korkes gesteckt, so daß die Spitze des gebogenen Theiles etwas vor die Spitze des geraden zu stehen kommt, wie es aus Fig. 205 zu erkennen ist; will der Apparat nicht gleich ansprechen, so schiebe man die Röhren ein wenig hin oder her, durch Probiren findet man bald die vortheilhafteste Stellung.

Taucht man das weite Ende des gebogenen Rohres, Fig. 205, in Wasser und bläst mit dem Munde durch das gerade Rohr, so steigt die Flüssigkeit bis an die Mündung des Rohres und wird da durch den Luftstrom zu feinen Tröpfchen zerrissen, die einen kegelförmig ausgebreiteten

Staubregen bilden. Solcher **Zerstäubungsapparate** bedient man sich zu verschiedenen Zwecken: zum Besprengen zarter Zimmerpflanzen, zum Verflüchtigen wohlriechender Flüssigkeiten und um flüssige Arzneimittel in einen Zustand zu versetzen, der gestattet, sie einzuathmen und so an die Schleimhäute des Gaumens und Halses zu bringen.

Bringt man in das eine Ende eines 0,5 bis $1^m,5$ langen, 8 bis 10^{mm} weiten Rohres (von Glas oder von Papier, das man über eine Glasröhre zusammengerollt und verleimt hat) einen Kork, der so klein ist, daß er bei senkrechter Stellung des Rohres leicht durch dasselbe hindurchfällt und bläst auf das andere Ende kräftig durch ein einige Centimeter langes, 6 bis 8^{mm} weites Glasrohr, das man so hält, daß es einen noch etwas spitzeren Winkel mit dem langen Rohr macht, als ihn die beiden Röhren in Fig. 205 bilden, so fährt der Kork durch das lange Rohr hindurch nach dem Ende, auf welches man bläst und fliegt von da im Bogen fort.

Bei beiden Vorrichtungen treibt der atmosphärische Druck die Körper, hier den Kork, dort die Flüssigkeiten, durch das Rohr nach der Stelle, wo der Druck im ausfahrenden Strahle kleiner ist, als der Atmosphärendruck.

Noch besser, als durch geblasene Luftströme lassen sich solche Saugwirkungen hervorbringen durch Dampfstrahlen, wovon in der Wärmelehre die Rede sein wird.

Molekularverhältnisse gasiger Körper.

31. Oberflächenverdichtung, Absorption, Diffusion. Gasige Körper zeigen an **starren Körpern** eine sehr bemerkbare Adhäsion, d. h. sie werden von denselben angezogen und festgehalten, und zwar so kräftig, daß eine förmliche Verdichtung derselben stattfindet. Je mehr Oberfläche ein starrer Körper besitzt, desto beträchtlichere Mengen gasiger Körper werden sich auf ihm verdichten; sehr poröse Körper vermögen an den Wandungen ihrer zahlreichen Poren soviel Gas zu verdichten, daß sie dasselbe förmlich verschlucken (**absorbiren**, davon das Hauptwort **Absorption**). Bei verschiedenen starren Körpern und verschiedenen Luftarten ist die Anziehung sehr verschieden stark; besonders auffällig zeigt sie sich an einem Gase, welches **Kohlensäure** heißt und bei Holzkohle. Ein Stück Holzkohle vermag ein Volumen Kohlensäuregas zu verschlucken, welches viele Mal so groß ist als es selbst; bringt man ein Stückchen Holzkohle in ein Gläschen voll Kohlensäure, das mit der abwärtsgekehrten Oeffnung in Quecksilber taucht, so steigt das Quecksilber, durch den äußeren Luftdruck getrieben, in dem Maße in das Gläschen hinein, wie das Gas verschluckt wird, so daß schließlich das Glas ganz mit Quecksilber gefüllt wird.

Man stellt das Kohlensäuregas dar, indem man in den Gasentwickelungsapparat Fig. 154 eine Anzahl haselnußgroßer Stückchen von Marmor, von ungebranntem Kalkstein oder allenfalls auch von Kreide bringt, die Flasche zur Hälfte mit Wasser füllt, den Kork aufsetzt und durch das Trichterrohr Salzsäure zugießt. Das Gas entwickelt sich ähnlich wie der Wasserstoff unter Aufbrausen; damit die Flüssigkeit nicht überschäumt, setzt man zuerst nur 10 bis 20^{cc} Salzsäure zu und gießt erst dann wieder etwas nach, wenn die Entwickelung schwach wird.

Das Gefäß Fig. 162 gießt man bis fast ganz an den Rand voll Quecksilber, schüttet es dann durch einen geräumigen Glastrichter in eine leere Flasche und füllt aus dieser ein kleines Probirglas (etwa 8^{cm} lang, 1^{cm} weit) ganz voll und bringt

den Rest in das eiserne Gefäß zurück; der Zweck dieses Verfahrens ist der, daß man in das Eisengefäß gerade soviel Quecksilber bringen will, daß es später eben noch den Inhalt des Probirglases aufnehmen kann. Man verschließt nun das Probirglas mit dem Finger, kehrt es um und taucht die Mündung unter das Quecksilber des Gefäßes; nach §. 25 bleibt das Glas mit Quecksilber gefüllt. Man klemme es nun vorsichtig in einen zuvor bereit gestellten Retortenhalter derart ein, daß seine unten befindliche Mündung einige Millimeter über den Boden des Gefäßes kommt und bringe unter das Quecksilber und unter diese Mündung das zu einer etwa 1^{mm} weiten Spitze ausgezogene Ende eines Glasröhrchens, dessen anderes Ende durch einen Kautschukschlauch mit dem Gasentwickelungsapparate verbunden ist; das Kohlensäuregas steigt dann in Blasen im Quecksilber auf und erfüllt das Probirglas, während das Quecksilber herausfließt.

Man darf das Gas nicht unmittelbar nach dem Ingangsetzen des Entwickelungsapparates auffangen wollen, weil zuerst die Luft aus diesem herausgetrieben wird; will man sicher sein, daß man genug hat entweichen lassen, so fülle man eine Flasche, die etwa so groß ist, wie die Flasche des Entwickelungsapparates, mit Wasser, bringe sie mit der Oeffnung nach unten in ein grösseres, flaches, halbgefülltes Wassergefäß (Schüssel) und fange das entwickelte Gas darin auf, indem man das Ende eines an den Schlauch gesteckten Glasröhrchens unter die eingetauchte Mündung der Flasche bringt; ist diese Flasche voll, so kann man annehmen, daß nun alle Luft entfernt ist und reine Kohlensäure austritt. Zum Auffangen der Kohlensäure über Wasser nimmt man zweckmäßig ein anderes Glasrohr, als nachher zum Auffangen über Quecksilber, weil dasselbe naß wird und dadurch leicht Wasser mit in das Probirglas kommen könnte, das dann die Poren der Kohle erfüllen und dadurch das Gelingen des Versuches stören würde.

Holzkohle verschluckt nicht nur Kohlensäure, sondern auch gewöhnliche Luft, wenn auch letztere in etwas geringerem Maaße. Die Poren der gewöhnlichen Kohle, die nach ihrer Bereitung einige Zeit gelegen hat, sind deshalb immer mit verdichteter Luft erfüllt; soll die Kohle ihre Wirkung auf das Kohlensäuregas deutlich äußern, so muß die Luft erst ausgetrieben werden. Dies geschieht, indem man das zu dem Versuche zurechtgeschnittene Kohlenstückchen (12 bis 15^{mm} lang, 6 bis 8^{mm} dick) mit der Pincette faßt und solange über die Spitze der Flamme einer Weingeistlampe oder eines Bunsen'schen Brenners hält, bis es völlig glühend ist; die Hitze bewirkt ein Entweichen der verschluckten Luft. Dann taucht man die Kohle noch glühend unter das Quecksilber, damit sie nicht in der Luft abkühlen und von neuem Luft aufnehmen kann und bringt sie unter die Oeffnung des Probirgläschens, das man zu diesem Zweck sammt dem Retortenhalter soviel hebt, daß sich die Kohle hineinschieben läßt, wobei die Mündung des Glases aber nicht bis an die Quecksilberoberfläche gehoben werden darf, damit nicht etwa Kohlensäure entweichen und dafür Luft eintreten kann. Man läßt dann das Glas sofort wieder nieder, die auf dem Quecksilber im Probirglas schwimmende Kohle verschluckt das Gas so rasch, daß in einigen Minuten das Quecksilber das ganze Glas erfüllt und man nur am obersten Punkte noch die Kohle sieht.

Hat man keine Gelegenheit, Holzkohle in Stücken zu bekommen, so legt man ein nicht zu dünnes Scheit weiches Holz in ein Ofenfeuer und läßt es so lange brennen, bis es vollkommen verkohlt ist, das heißt, bis es nur noch glüht und keine Flammen mehr daran zu bemerken sind; dann zieht man es heraus und bedeckt es dicht mit Asche oder Sand, damit es verlöscht; allenfalls kann man es in Wasser ablöschen, dann muß es aber erst wieder völlig trocken werden, ehe man ein Stück davon zurecht schneidet und ausglüht, weil feuchte Kohle beim Erhitzen zerplatzt. Die Poren der Kohle füllen sich bei dem Versuche zum Theil mit Quecksilber, man zerreibe sie in einem Porcellanmörser und spüle die Kohletheilchen mit Wasser von den zurückbleibenden Quecksilbertröpfchen fort, wenn man nicht etwas verlieren will.

Die Oberflächen aller starren Körper sind im gewöhnlichen Zustande bedeckt mit einer unsichtbaren Schicht von verdichteter Luft und verdichtetem Wasserdunst (Wasserdunst ist in der atmosphärischen Luft immer enthalten). Schreibt man auf eine reine Glastafel (die aber nicht frisch, sondern vor

einigen Stunden geputzt sein muß, damit die beim Putzen abgeriebene Schicht verdichteter Luft wieder durch eine neue ersetzt worden ist) mit einem harten Hölzchen oder mit einem Stifte von Messing oder Eisen (nicht Stahl, weil dieser, wenn er hart ist, das Glas ritzt), so kratzt man von den beschriebenen Stellen die adhärirende Luftschicht weg. Haucht man mit dem Munde auf die Glastafel, daß sie beschlägt, so werden die geschriebenen Züge sichtbar, weil sich auf den reinen Stellen der Wasserdampf in etwas anderer Weise niederschlägt, als auf den von der adhärirenden Luftschicht bedeckten Stellen. Ist das auf der Glastafel niedergeschlagene Wasser wieder verdunstet, so sind die Schriftzüge wieder unsichtbar, aber bei wiederholtem Behauchen treten sie wieder hervor, selbst noch am anderen Tage. Gelindes Abwischen des Glases mit einem Tuche reicht in der Regel noch nicht hin, die adhärirende Luft zu entfernen, die Züge treten, wenigstens bei manchen Glassorten, auch noch beim Behauchen des abgewischten Glases hervor und nur sehr kräftiges Abreiben ist im Stande, die Luftschicht gleichmäßig zu entfernen und so die Schriftzüge zu verwischen.

Fig. 206.



1/2 nat. Gr.

Solche Erscheinungen, **Hauchbilder**, deren Entstehung ihren Grund immer darin hat, daß sich Dämpfe auf den mit einer adhärirenden Gasschicht bedeckten Theilen einer Fläche anders niederschlagen, als auf den davon befreiten Stellen, lassen sich noch auf sehr verschiedene Weise hervorbringen. Ein einfaches Verfahren ist das, daß man eine aus nicht zu feinen Theilen bestehende Figur, etwa einen Stern, wie Fig. 206, in steifem Papier ausschneidet, das Papier auf eine reine Glastafel legt und darauf haucht, so daß die im Papier ausgeschnittenen Theile auf der Glastafel mit Feuchtigkeit beschlagen. Ist nach dem Abheben des Papiers das niedergeschlagene Wasser soweit verdunstet, daß man von der Figur nicht das Mindeste mehr sieht, so ist doch die adhärirende Schicht an den mit Feuchtigkeit bedeckt gewesenen Stellen in einem etwas anderen Zustande, als an den mit dem Papier bedeckten; diese Verschiedenheit läßt sich sofort erkennen, wenn man jetzt das Glas behaucht; die Figur wird dadurch sofort auf dem Glase sichtbar. Auch bei diesem Versuche läßt sich das Bild ein zweites Mal und wol noch öfter wieder hervorrufen, aber durchaus nicht so oft und lange, als bei dem ersten.

Zu dem Versuche geht jede Fensterscheibe an, die nicht zu warm ist, so daß sich überhaupt Wasser darauf niederschlägt. Man reibt sie, um sie von Luft zu befreien, unter starkem Druck, aber nicht zu schneller Bewegung mit einem reinen, trocknen Tuche, damit sie sich nicht zu sehr erwärmt; hat man eine lose Glastafel, die man auf eine ebene Unterlage (eine Lage Papier auf einem Tisch oder dergl.) bringen kann, so läuft man nicht so leicht Gefahr, sie beim Putzen zu zerbrechen. Mit ungeputztem Glase gelingt der Versuch weniger.

Auch **tropfbare Körper** zeigen eine Anziehung gegen die Molecüle von Gasen, sie vermögen sie in ähnlicher Weise zu verschlucken, wie poröse feste Körper. Bei den tropfbaren Körpern nennt man diese Absorption der Gase, auch wol **Auflösung**. Das Wasser vermag verschiedene Gase in sehr verschiedener Menge zu lösen, immer aber löst sich in der Wärme weniger von einem Gase, als in der Kälte. Frisches Brunnenwasser enthält eine gewisse Menge Luft aufgelöst; läßt man dasselbe in einem Glase

im Zimmer stehen, so daß es allmählig wärmer wird, so scheidet sich ein Theil der Luft in feinen Bläschen aus, die sich an die Glaswandung ansetzen; noch besser kann man diese Ausscheidung beobachten, wenn man frisches Wasser in einem Probirglas erwärmt (nicht bis zum Kochen), am schönsten, wenn man ein Glas frisches Wasser unter den Recipienten der Luftpumpe bringt und auspumpt; unter geringerem Druck vermag nämlich eine Flüssigkeit auch weniger Luft gelöst zu enthalten, als unter größerem, so daß eine Druckverminderung ebenso gut eine Ausscheidung bewirkt, als eine Erwärmung. Die moussirenden Getränke, Bier, Champagner, Sodawasser, enthalten beträchtliche Mengen Kohlensäure absorbirt, die sich bei der Gährung der geistigen Getränke in ziemlicher Menge entwickelt und in den verschlossenen Flaschen einen bedeutenden Druck hervorbringt oder die bei den künstlichen moussirenden Wässern durch besondere Druckpumpen in die das Wasser enthaltenden Gefäße hineingepreßt wird. Beim Entkorken einer Flasche mit einer solchen Flüssigkeit entweicht das noch über der Flüssigkeit befindliche, comprimirte Gas, der Druck verkleinert sich plötzlich bis auf den Atmosphärendruck und die Folge dieser Druckverminderung ist eine massenweise Ausscheidung von Kohlensäure aus der Flüssigkeit, welche deshalb aufschäumt.

Um die Absorption des Kohlensäuregases durch Wasser zu beobachten, nimmt man ein Probirglas, das so groß ist, daß es sich eben noch mit dem Daumen sicher verschließen läßt. Dasselbe wird mit Wasser gefüllt, mit der abwärts gekehrten Mündung in Wasser getaucht und mit Kohlensäure zu etwa drei Viertel gefüllt; sobald das Wasser im Probirglas bis auf ein Viertel seiner anfänglichen Höhe gefallen ist, hört man auf, Kohlensäure zuzuleiten, verschließt die Mündung des Glases unter Wasser mit dem Daumen, hebt es aus dem Wasser heraus, schüttelt es recht kräftig, taucht es wieder ein und öffnet unter Wasser wieder die Mündung. Nach dem Schütteln fühlt man bereits, daß der Daumen vom äußeren Luftdruck stärker gedrückt wird, als von innen; man muß, um ihn unter Wasser zu entfernen, eine merkbare Kraft aufwenden und sobald man ihn wegnimmt tritt etwas Wasser in das Probirglas an die Stelle des absorbirten Kohlensäuregases. Wiederholt man das abwechselnde Schließen und Oeffnen unter Wasser mit dazwischen erfolgendem Schütteln einige Male, so wird mehr und immer mehr Kohlensäure absorbirt, bis schließlich das Probirglas weitaus zum größten Theile mit Wasser gefüllt erscheint.

Die Erscheinungen der Diffusion zeigen die gasigen Körper ebenso, wie die tropfbaren und in noch größerer Allgemeinheit, weil alle Arten von Gasen untereinander mischbar sind, während sich viele Flüssigkeiten nicht untereinander mischen.

Gase vermischen sich selbst dann noch ziemlich schnell, wenn das schwerere von ihnen sich unten befindet, was sich mit Hülfe von Kohlensäuregas gut nachweisen läßt. Das Kohlensäuregas ist etwa anderthalb mal so schwer, als atmosphärische Luft; es unterscheidet sich von der Luft auch dadurch, daß es nicht im Stande ist, das Verbrennen eines Körpers zu unterhalten; bringt man einen brennenden Spahn oder Fidibus in Kohlensäure, so verlischt er augenblicklich.

Den vom Kohlensäureentwickelungsapparat kommenden Kautschukschlauch oder ein an diesen gestecktes Glasrohr, läßt man bis auf den Boden eines großen, weiten Glasgefäßes gehen; die entwickelte Kohlensäure sammelt sich

ihrer Schwere wegen zunächst auf dem Boden des Gefäßes an und steigt dann höher und höher, bis sie dasselbe ganz angefüllt hat. Ob das Gefäß ganz gefüllt ist, erfährt man dadurch, daß man probirt, ob ein brennender Fidibus oder Spahn verlischt, sobald man ihn nur ein wenig in das Gefäß bringt; ist das Gefäß noch nicht ganz voll, so verlischt er erst in einiger Tiefe. Daß das Kohlensäuregas schwerer ist als Luft, kann man sehr schön dadurch nachweisen, daß sich dasselbe wie eine tropfbare Flüssigkeit aus einem Gefäße in ein anderes gießen läßt. Man stellt in ein zweites Glasgefäß von gleicher Größe mit dem ersten ein kleines Licht und neigt das mit dem unsichtbaren Gase gefüllte Glas von der Seite her gerade so über dieses zweite, wie man es beim Umgießen von Wasser oder dergl. thut, das schwere Gas fließt in das zweite Glas und bringt das Licht zum Verlöschen.

Es ist wol selbstverständlich, daß man diesen Versuch nur bei ruhiger Luft, also im Zimmer bei verschlossenen Fenstern anstellen kann, weil der geringste Luftzug den ausfließenden Kohlensäurestrom zur Seite treibt. Die Gefäße darf man nicht zu klein nehmen, zweckmäßig sind Einmachgläser von wenigstens 12^{cm} Weite und 20^{cm} Höhe. Ein kleines Lichtstümpfchen oder ein kurzes Endchen Wachsstock befestigt man auf einem Kork oder klebt es unmittelbar auf den Boden des Glases; den Kork wird man, damit er ordentlich fest steht, an der unteren Seite meist etwas aushöhlen müssen, weil die Böden der Gläser selten eben, sondern fast immer nach der Mitte zu erhöht sind.

Läßt man ein mit Kohlensäure gefülltes Glas ruhig offen stehen, so findet sich nach einiger Zeit keine Kohlensäure mehr darin vor, durch Eintauchen eines brennenden Spahnes überzeugt man sich leicht davon, daß das Glas gewöhnliche Luft enthält. Das Kohlensäuregas vermischt sich trotz seines größeren spec. Gewichtes mit der leichteren atmosphärischen Luft, die sich über ihm befindet und zwar geht diese Diffusion viel schneller vor sich, als bei tropfbaren Körpern; nach etwa einer halben Stunde ist alle Kohlensäure aus dem Glase entwichen.

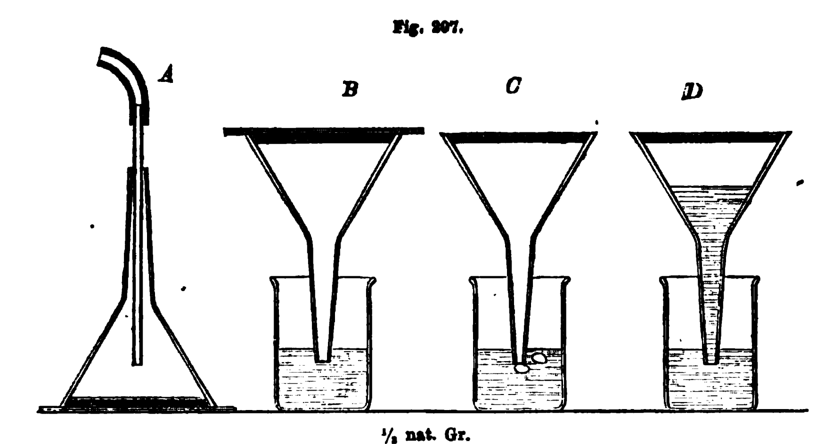
Ebenso findet, wenn verschiedene Gase durch eine poröse Wand getrennt sind, eine viel schnellere Diffusion durch diese Wand hindurch statt, als bei tropfbaren Körpern; darin aber sind sich beide Arten von Körpern ähnlich, daß gewöhnlich der leichtere schneller durch die Scheidewand hindurchdringt, als der schwerere. Man könnte diese Diffusion der Gase durch poröse Wände füglich ebenso gut mit dem Namen Endosmose bezeichnen, wie die der tropfbaren Flüssigkeiten, doch ist das wenig üblich. Zu Versuchen über diese Diffusion eignet sich ganz vorzüglich eine Scheidewand von gegossenem Gyps.

Ein Glastrichter, dessen weite Oeffnung durch eine aufgekittete Gypsplatte verschlossen ist, läßt sich mit Kohlensäure füllen, wenn man ihn mit der Gypsplatte auf eine Glasplatte legt, so daß er sein Rohr nach oben kehrt; ein an den Schlauch des Gasentwickelungsapparates angestecktes Glasrohr muß dünn genug sein, um sich durch das Rohr des Trichters bis in den weiteren Theil schieben zu lassen, Fig. 207 A. Hat man so lange Kohlensäure eingeleitet, daß man annehmen kann, daß der Trichter gefüllt ist, so hebt man ihn sammt der Glasplatte, auf welcher er steht, auf und bringt ihn mit der Rohrmündung unter Wasser, Fig. 207 B; sobald man nun die Glastafel wegnimmt, strömt Kohlensäuregas durch die Poren des Gypses nach außen, die leichtere Luft aber strömt mit größerer Geschwindigkeit nach dem Inneren des Trichters und bewirkt hier eine Zunahme des Gasvolumens, so daß Gasblasen durch die Rohrmündung austreten, Fig. 207 C. Hat man den mit einer Glasplatte bedeckten Trichter in

aufrechter Stellung mit Leuchtgas oder noch besser mit dem leichteren Wasserstoffgas gefüllt und bringt ihn dann mit der Oeffnung unter Wasser, so steigt dieses nach dem Entfernen der Glastafel in wenigen Secunden bis etwa zur halben Höhe des Trichters, Fig. 207 D, weil das leichtere Gas schneller nach außen strömt, als die schwerere Luft nach dem Innern des Trichters.

Zu diesen Versuchen nimmt man einen Trichter mit 6 bis 8^{cm} weiter Oeffnung. Eine Glastafel, die etwas größer ist, als die Oeffnung des Trichters, wird wagrecht auf den Tisch gelegt und mit Gypsbrei (vgl. S. 112) übergossen. Dieser soll eine 2, höchstens 3^{mm} dicke Schicht bilden; läuft er nicht von selbst breit, so klopft man etwas an die Glastafel oder auch stark an den Tisch, auf dem sie liegt. Sobald die Gypsschicht die gewünschte Dünne hat, stülpt man den Trichter darauf, so daß er sich mit seinem Rande durch den Gyps durchdrückt und eine runde Scheibe von passender

Fig. 207.



$^1/_3$ nat. Gr.

Größe abschneidet. Nach einer halben Stunde entfernt man mit dem Messer den rings um den Trichterrand befindlichen Gyps und bläst durch das Rohr stark in den Trichter, wodurch dieser sich abhebt. Dann läßt man in der Sonne oder in der Nähe des Ofens die Glastafel mit der runden Gypsschicht einige Stunden liegen, ehe man versucht die letztere abzulösen; ist dies gelungen, so legt man sie hohl, etwa auf 3 kleine Korke und überläßt sie einen Tag lang sich selbst, damit sie völlig austrocknet. Der Rand des Trichters wird durch Drehen über der Lampe erwärmt, bis Siegellack darauf schmilzt, dieses bringt man natürlich nur auf die innere Seite des Randes; nachdem sich der Trichter soweit abgekühlt hat, daß das Siegellack nicht mehr förmlich darauf fließt, so daß man ihn etwas aufrichten kann, ohne daß Lack in's Innere läuft, verdickt man den ursprünglich aufgestrichenen Rand durch Bestreichen mit einer in der Lampe erwärmten Siegellackstange, dann macht man nochmals den ganzen Rand gleichmäßig warm und stülpt den Trichter auf die Gypsplatte; nach dem Erkalten schabt man etwa herausgequollenes Siegellack mit dem Messer ab. Ist der Trichter nicht vollkommen rund, so achte man darauf, daß die Gypsplatte beim Einkitten so zu liegen kommt, wie sie beim Gießen gelegen hat, weil sie sonst nicht ordentlich paßt.

Für den Versuch mit Kohlensäure läßt man den Trichter nur wenige Millimeter in das Wasser tauchen, um das Austreten der Gasblasen nicht unnöthig zu erschweren; bei dem Versuch mit Leuchtgas oder Wasserstoff muß man etwas tiefer eintauchen, damit das Rohr nicht aus dem Wasser herauskommt, wenn infolge des Herauftretens in den Trichter das Wasser im Gefäße sinkt.

Akustik,

d. i. Lehre vom Schall.

---

32. **Wesen und Fortpflanzung des Schalls.** Die Fähigkeit des menschlichen Körpers, Sinneseindrücke von der äußeren Welt zu empfangen, ist theilweise über die ganze Oberfläche desselben ausgedehnt, theils ist sie an einzelne bestimmte Sinneswerkzeuge (Sinnesorgane) gebunden. Licht, Schall, Geruch und Geschmack vermögen wie nur mittelst der Augen, Ohren, der Nase und des Mundes wahrzunehmen; dagegen sind alle Theile der Oberfläche unseres Körpers geeignet, Druck und Wärme zu empfinden. Was wir Gefühl nennen, läuft immer auf eine Wahrnehmung von Druck oder von Wärme hinaus. Der Druck kann andauernd oder schnell vorübergehend (Stoß) sein, er kann sich über eine größere Fläche verbreiten oder nur eine einzelne, kleine Stelle treffen (Stich), er kann längere Zeit auf dieselbe Stelle wirken oder von einem Orte zum andern fortschreiten (Kratzen, Reibung); wir unterscheiden, ob ein Körper an den Stellen, wo wir ihn berühren, einen gleichmäßigen Druck auf unsere Haut ausübt, oder ob einzelne Theile uns stärker drücken, d. h., wir unterscheiden, ob der Körper glatt oder rauh ist, und so fort, immer aber sind es außer Unterschieden in der Wärme nur die mannichfachsten Unterschiede von Druck, was wir durch das Gefühl wahrnehmen. Vielleicht wäre es richtiger, anstatt eines Gefühlssinnes deren zwei, nämlich einen Tastsinn und einen Wärmesinn zu unterscheiden, weil Druck und Wärme Empfindungen ganz verschiedener Art sind und unsere übrigen Sinne nur für je eine Art von Empfindungen eingerichtet sind. So wie aber jeder Sinn nur für eine Art von Empfindung geschaffen ist, so ist er auch von der Natur eigentlich nur dazu bestimmt, auf eine bestimmte Art erregt zu werden; wird ein Sinn durch etwas anderes, als wofür er bestimmt ist, in Thätigkeit versetzt, so entstehen Sinnestäuschungen. Das Auge, dessen Zweck es ist, Lichteindrucke wahrzunehmen, empfindet auch andere Einwirkungen so, als ob es Gesichtswahrnehmungen wären; drückt man ganz leise auf die der Nase zunächst gelegene Stelle des geschlossenen Auges, so glaubt man seitwärts von sich einen hellen Ring mit dunkler Mitte zu sehen; stößt man sich im Finstern an's Auge, so empfinden die äußeren Theile des Auges den äußerst schmerzhaften Druck, die Gesichtsnerven aber haben den Eindruck eines hellen Blitzes. Das Ohr,

zum Hören bestimmt, empfindet auch den Druck des zuweilen in ungewöhnlicher Menge dem Kopfe zuströmenden Blutes als ein Geräusch, als ein Summen und Aehnliches findet bei allen Sinnen statt. Die Elektricität, mit welcher wir uns später beschäftigen werden, ruft die verschiedensten Sinneserscheinungen hervor; auf der Haut empfindet man dieselbe je nach der verschiedenen Art ihrer Einwirkung als Schlag, als Brennen oder als Stich, im Auge bringt sie den Eindruck eines Lichtblitzes, im Munde eine Geschmacksempfindung hervor, ohne daß wir in Wirklichkeit geschlagen, verbrannt, gestochen werden, ohne daß eine wirkliche Lichterscheinung oder etwas zu schmecken da ist.

Auch das Gehör kann durch Elektricität erregt werden, aber weder diese, noch die durch Druck bewirkte Gehörsempfindung haben wir hier zu betrachten; unter Schall verstehen wir nur die Erscheinung, für deren Wahrnehmung das Ohr eigentlich bestimmt ist. Seinem Wesen nach ist der Schall nichts anderes, als eine Art von Bewegung, die wir in vielen Fällen auch durch das Gefühl wahrnehmen können. An dem Resonanzboden eines Pianofortes, an dem Kasten einer Geige, an dem Stiele einer Stimmgabel können wir, sobald mit diesen Instrumenten ein Ton hervorgebracht wird, ein leises Zittern fühlen und daß diese zitternde Bewegung tönender Körper nicht etwas Zufälliges ist, was nebenbei geschieht, sondern daß diese Bewegung den Schall selbst ausmacht, erkennen wir daran, daß der Ton aufhört, sobald wir die Theile, die ihn hervorbringen, verhindern, sich zu bewegen, indem wir sie mit den Fingern berühren; eine Berührung der Saiten des Pianofortes oder der Geige, der Zinken der Stimmgabel läßt die tönenden Instrumente augenblicklich verstummen.

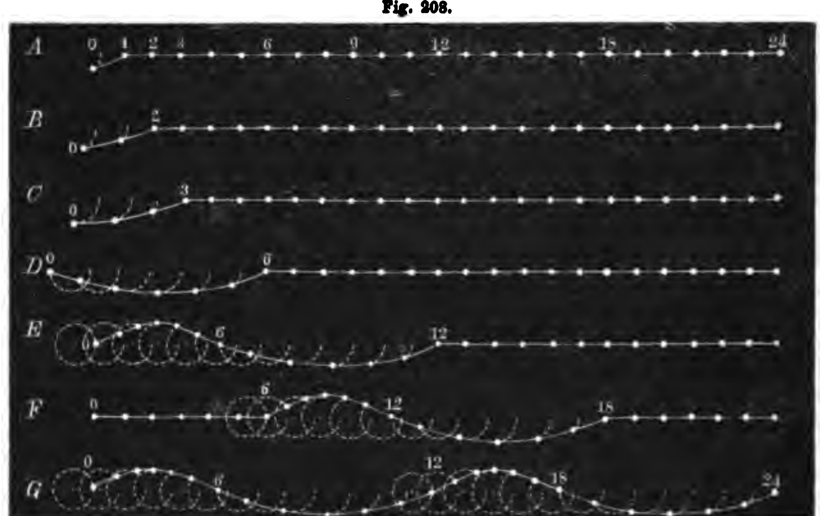
Damit wir einen tönenden Körper hören, reicht es nicht aus, daß derselbe eine passende Bewegung macht; diese Bewegung muß auch bis zu unserm Ohre fortgepflanzt werden. In weitaus den meisten Fällen erfolgt die Fortpflanzung der Schallbewegung durch die Luft, nur selten durch tropfbare oder starre Körper. Die Fortpflanzung der Schallbewegung durch die Luft ist aber wol zu unterscheiden von einer Fortbewegung der Luft selbst, sowie das Fortschreiten der Wellen auf der Oberfläche des Wassers ganz verschieden ist von einem Fortfließen des Wassers. Liegt auf einer von Wellen bewegten Wasserfläche ein kleiner schwimmender Körper, so erkennt man leicht, daß er von den Wellen hauptsächlich nur gehoben und gesenkt, aber nicht oder wenig nach der Seite fortbewegt wird. Jede Welle, die unter ihm durchzieht, bewegt ihn zwar ein Stückchen in der Richtung, nach der sie hingeht, während der ansteigende Theil vorbeigeht, aber die zwischen zwei Wellenbergen liegende Senkung, das Wellenthal, bewirkt eine Bewegung des schwimmenden Körpers nach der entgegengesetzten Seite, die ebenso groß ist, wie die erste, so daß der Körper an seinen frühern Ort zurückkommt. Wird ein schwimmender Körper von seinem Orte weiter und immer weiter fortgetrieben, so ist der Wind oder ein neben dem Wellenschlage stattfindendes Fließen des Wassers die Ursache [34]. Durch sorgfältige Untersuchungen hat man gefunden, daß die Bewegung eines von Wellen geschaukelten,

---

[34] Nur eine gewisse Art von Wellen, die Sturzwellen, vermögen einen Körper selbstständig etwas fortzubewegen, aber auch dabei rückt er viel langsamer vorwärts, als die Wellen selbst.

schwimmenden kleinen Körpers und die Bewegung der Wassertheilchen selbst kreisförmig ist, jedes Wassertheilchen kommt also immer und immer wieder an seinen Ausgangspunkt zurück; das Fortschreiten der Wellen beruht darauf, daß ein Theilchen seine Bewegung immer etwas später beginnt, als das nächstvorhergehende. Fig. 208 zeigt die Entstehung der Wasserwellen durch kreisförmige Bewegung der einzelnen Wassertheilchen. Es sind die Bahnen derjenigen Theilchen durch punktirte Linien dargestellt, welche so weit auseinanderliegen, daß eines (1) seine Bewegung eben beginnt, wenn das vorhergehende (0) den zwölften Theil eines Kreises beschrieben hat. A stellt die Oberfläche dar, nachdem das Theilchen 0 ein Zwölftel, B nachdem es ein Sechstel (zwei Zwölftel), C nachdem es ein Viertel (drei Zwölftel) des Kreises, D nachdem es die Hälfte seiner Bahn durchlaufen hat und E nachdem dieses Theilchen wieder in seinem Ausgangspunkte angekommen ist. Zieht nur eine Welle über das Wasser hin, so bleibt jedes Theilchen, nach-

Fig. 208.



dem es einen Kreis beschrieben hat, in Ruhe; Fig. 208 F stellt die Wasserfläche dar, nachdem die Welle um die Hälfte ihrer Länge weiter fortgeschritten ist, als bei E; folgen mehrere Wellen hintereinander, so durchläuft jedes Theilchen den nämlichen Kreis mehrere Male hintereinander, Fig. 208 G. Die Bewegung, welche die Lufttheilchen bei der Fortpflanzung des Schalles machen, hat eine gewisse Aehnlichkeit mit der Wellenbewegung des Wassers und man bezeichnet sie deshalb auch als Wellenbewegung.

Die Uebereinstimmung zwischen Schallwellen und Wasserwellen liegt aber nur darin, daß bei beiden eine Fortpflanzung einer Bewegungserscheinung dadurch zu Stande kommt, daß ein Theilchen eine bestimmte Bewegung etwas später ausführt, als das nächstvorhergehende. Die Art dieser Bewegung ist eine bei beiden Wellenarten wesentlich verschiedene; während die Wassertheilchen Kreise beschreiben, gehen die Lufttheilchen geradlinig hin und her und zwar in der Richtung, in welcher sich der Schall fortpflanzt. Während die Wasserwellen aus abwechselnden Erhöhungen und Vertiefungen der

Wasseroberfläche bestehen, werden die Schallwellen durch abwechselnde Verdichtungen und Verdünnungen der Luft gebildet. Sobald ein von Luft umgebener Körper in rasche Schwingungen versetzt wird, d. h., sobald seine Theile mit großer Geschwindigkeit um kleine Stücke hin und her gehen, müssen solche Verdichtungen und Verdünnungen stattfinden. Eine tönende Stimmgabel befinde sich in einiger Entfernung von unserm Ohre; der Einfachheit wegen wollen wir annehmen, daß eine ihrer Zinken in der Richtung auf uns zu und von uns weg schwingen soll. In dem Augenblick, in welchem die Zinke sich auf uns zu bewegt, wird sie die nächsten Lufttheilchen a (Fig. 209 A) etwas zusammendrücken, weil die entfernteren b wegen ihres Beharrungsvermögens nicht gleich die Bewegung annehmen. Schon ehe die Stimmgabel anfängt, nach entgegengesetzter Richtung zu schwingen, beginnen die zusammengepreßten Lufttheilchen sich wieder auseinanderzudehnen und zwar nach der Seite hin, wo der geringste Widerstand stattfindet, also nach b zu, weil die Theilchen b sich noch unter gewöhnlichem Druck befinden, während nach der Seite der Stimmgabel verdichtete Luft ist. Es werden aber jetzt die Theilchen b auch zusammengedrückt, Fig. 209 B, indem sich die Theilchen a in der Richtung des über sie gezeichneten kleinen Pfeiles bewegen. Diese Bewegung behalten die Theilchen a infolge des Beharrungsvermögens auch dann noch einen Augenblick bei, wenn die Zinke der Gabel sich bereits in umgekehrter Richtung, also von uns fortbewegt, (Fig. 209 C); in diesem Augenblick sind die Theilchen b schon in Bewegung nach c hin, und bewirken eine Zusammenpressung der Luft bei c, während die Theilchen zwischen a und der Gabel eine Verdünnung erleiden, weil die Gabel nach links, die Theile a nach rechts gehen. Sobald aber auf diese Weise die Luft dicht an der Gabel verdünnt worden ist und also einen wesentlich kleineren Druck erlangt hat, als die noch etwas verdichtete Luft bei b, so kehren die Theilchen a ihre Bewegungsrichtung um und bewegen sich nach der Gabel zu, Fig. 209 D, so daß die Verdünnung zwischen a und b kommt, während die Verdichtung über c nach d fortschreitet und bei b wieder die ursprüngliche Dichtigkeit herrscht. In ähnlicher Weise rückt die Verdichtung immer näher auf uns zu und hinter ihr her die Verdünnung, die in ganz ähnlicher Weise fortschreitet, indem jetzt die Theilchen von b nach der verdünnten Stelle strömen, so daß bei b eine Verdünnung entsteht u. s. f.

Fig. 209.

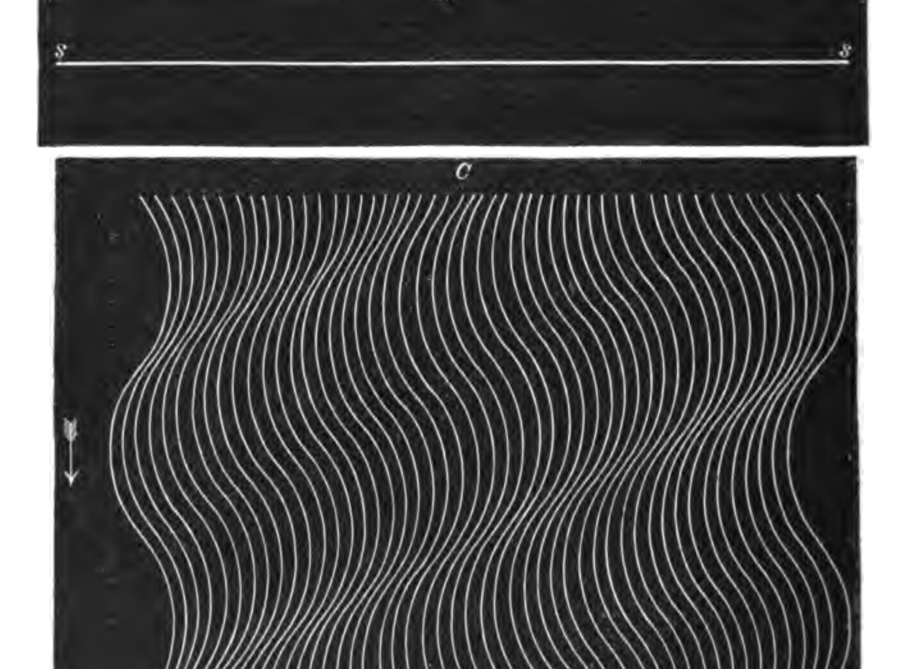
A B C D — a b c d

Die tönende Stimmgabel macht nicht eine einzelne Schwingung, sondern viele gleichmäßige und veranlaßt dadurch eine ganze Reihe von Verdichtungen und Verdünnungen, die sich in schneller Aufeinanderfolge bis zu unserem Ohre fortpflanzen. Das letzte Lufttheilchen vor unserem Ohre geht in ganz ähnlicher Weise hin und her, wie das Theilchen dicht an der Stimmgabel, nur etwas später. Die Bewegung der Lufttheilchen bei der Fortpflanzung des Schalls läßt sich noch weiter veranschaulichen mit Hülfe von Fig. 210. Aus einem Stück steifen (am besten schwarzen oder wenigstens dunkelgefärbten) Papieres B schneide man einen schmalen, horizontalen Streifen s s heraus, lege diesen auf den mit A bezeichneten Theil der Figur, so daß der Schlitz in

Fig. 210.



die Lage kommt, welche durch die punktirte Linie angedeutet ist, halte dann den Papierstreifen fest und ziehe das Buch langsam in der Richtung des kleinen Pfeiles unter demselben weg. Am Anfang erblickte man durch den Schlitz das untere Ende der geschlängelten Linie von B; beim Fortziehen des Buches kommen dann die obern, bald nach rechts, bald nach links liegenden Theile dieser Schlangenlinie unter den Schlitz; das durch den Schlitz gesehene kleine weiße Fleckchen (immer ein Stück der Schlangenlinie) wird also bei der Bewegung des Buches bald nach rechts, bald nach links rücken und dadurch die Bewegung eines Lufttheilchens genau, nur verlangsamt, nachahmen. Legt man aber den Schlitz über Fig. 210 C, wieder so, daß er die durch die punktirte Linie angedeutete Lage erhält und zieht dann das Buch in der Richtung des Pfeiles fort, so erblickt man die Bewegung, wie sie eine Reihe von Lufttheilchen macht, welche durch eine Anzahl aufeinanderfolgender, gleicher Wellen erregt wird. Jedes einzelne Theilchen bewegt sich nur wenig nach rechts und links und kommt immer wieder an seinen Ausgangspunkt zurück, die Verdichtungen und Verdünnungen aber, durch dichteres oder weniger



dichtes Aneinanderliegen der einzelnen weißen Fleckchen dargestellt, durchlaufen die ganze Reihe der Lufttheilchen von einem Ende bis zum andern.

Die Fortpflanzung des Schalles in der Luft ist eine außerordentlich rasche; auf kleine Entfernungen bemerkt man gar nicht, daß eine Zeit verfließt von dem Augenblicke, in dem ein Ton erzeugt wird, bis zu dem Augenblicke, in dem man den Ton hört. Befindet man sich aber in größerer Entfernung von einem Punkte, an dem ein Schall auf solche Weise erzeugt wird, daß man die Entstehung desselben durch das Gesicht wahrnehmen kann, so erkennt man leicht, daß der Schall einige Zeit braucht, um bis zu uns zu kommen. Beobachtet man das Abschießen eines Gewehres oder das Pfeifen einer Locomotive aus einer Entfernung von einigen Hundert oder besser einigen Tausend Schritten, so sieht man den Blitz und Pulverdampf, oder die der Pfeife entsteigende Dampfsäule ziemlich lange, ehe man den Knall oder Pfiff hört. Schon wenn in einer Entfernung von 200 Schritt jemand mit einem Beil oder Hammer auf einen harten Gegenstand (Stein, Brett, Klotz) schlägt, sieht und hört man den Schlag nicht gleichzeitig, sondern man hört ihn merklich später, als man ihn sieht. Man hat die Geschwindigkeit des Schalles bestimmt durch genaue Beobachtung der Zeit, welche vom Wahrnehmen des Blitzes zum Hören des Knalles einer Kanone verstreicht, die in großer Entfernung aufgestellt ist und gefunden, daß sie im Durchschnitt 340^m in der Secunde beträgt, bei kalter Luft etwas weniger, bei warmer etwas mehr.

Bekanntlich kann man aus der Zeit, welche bei einem Gewitter zwischen Blitz und Donner verstreicht, einen Schluß machen auf die Entfernung des Gewitters. Um einen Weg von einer Meile (7500^m) zurückzulegen braucht der Schall $\frac{7500}{340} = 22{,}06$ oder nahezu 22 Secunden, hört man also beispielsweise den Donner 33 Secunden, nachdem man den Blitz gesehen hat, so befindet sich das Gewitter in einer Entfernung von $\frac{33}{22} = 1{,}5$ Meile. Die Luft ist zwar der gewöhnlichste, aber nicht der beste Träger des Schalles; viele starre Körper pflanzen den Schall sehr gut und noch viel schneller fort, als die Luft. Sehr schön kann man die Fortpflanzung des Schalles durch einen straff gespannten Bindfaden, noch besser die durch einen Eisendraht beobachten. Der Faden oder Draht wird mit jedem Ende befestigt in der Mitte eines sogenannten Resonanzbodens, d. i. eines dünnen, nicht zu kleinen Brettchens, das wegen seiner verhältnißmäßig großen Fläche und weil es sehr biegsam ist, sich ganz besonders eignet, durch die Schallbewegung der Luft in Erschütterung versetzt zu werden und umgekehrt seine eigene Bewegung auf die Luft zu übertragen. Haben die Resonanzböden eine Fläche von 3 bis 4 Quadratdecimeter und ist zwischen ihnen ein 100^m langer Bindfaden ausgespannt, so hört jemand am einen Ende ganz deutlich, wenn an dem andern mit einem Bleistift oder auch nur mit dem Finger ganz schwach auf das Brettchen geklopft wird; eine Spieldose, die man auf den einen Resonanzboden aufsetzt, hört man am anderen so laut, als ob sie unmittelbar in der Nähe wäre; nähert jemand seinen Mund dem einen Resonanzboden bis auf etwa 10^{cm} und spricht mit halblauter Stimme, so versteht jemand, der das Ohr nahe an den andern Resonanzboden bringt, jedes Wort mit Leichtigkeit.

Durch einen zwischen den Resonanzböden sehr straff ausgespannten

Eisendraht von 0,^{mm}6 Dicke läßt sich das durch das leiseste Klopfen mit der Fingerspitze erzeugte Geräusch oder der Schall der mäßig lauten Stimme auf Entfernungen von mehr als 600^{m} hörbar machen; man erkennt, wenn an einem Ende des Drahtes verschiedene Personen aufgestellt sind, am andern jede einzelne ganz gut am Klang ihrer Stimme.

Stößt jemand, der sich nicht über 1^{m} von einem Resonanzboden befindet, einen kräftigen, kurzen Schrei aus, so hört man diesen am andern Drahtende doppelt; erst kommt der durch den Draht fortgepflanzte Schall an und

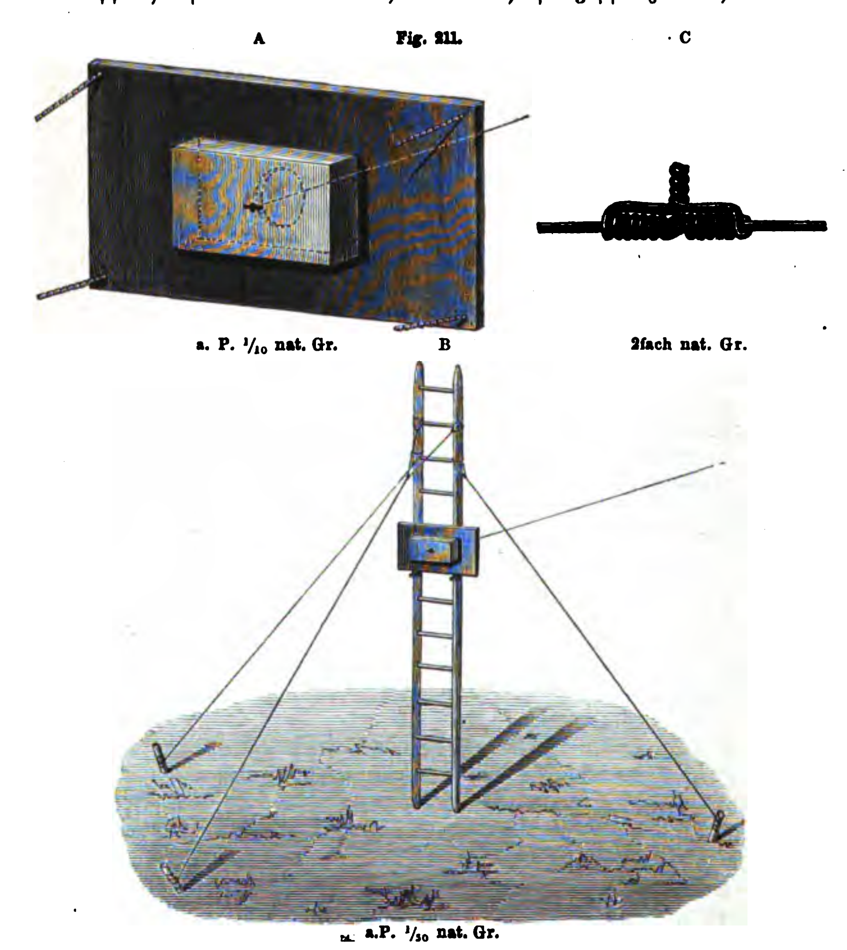


Fig. 211.

etwas später der durch die Luft fortgepflanzte, weil letzterer eine kleinere Geschwindigkeit hat, als ersterer.

Als Resonanzböden zu diesem Versuche kann man allenfalls Cigarrenbrettchen benutzen und zwar am einfachsten gleich ganze Cigarrenkistchen von etwa 25^{cm} Länge, 14^{cm} Breite und 8^{cm} Höhe, von denen man nur die Deckel entfernt, so daß die vier Seitenwände einen Rahmen bilden, welcher dem dünnen Boden etwas mehr Festigkeit giebt. Noch besser sind Resonanzböden aus 1,5 bis 2^{mm} starkem Fournür von

Tannenholz, das auf Rahmen von etwa 20^{cm} Länge und Breite und 2^{cm} Höhe aufgeleimt wird; die Wände dieser Rahmen läßt man vom Tischler etwa 6 bis 8^{mm} stark machen.

In die Mitte jedes Resonanzbodens wird ein Loch von 2 bis 3^{mm} Weite gebohrt, der Faden oder Draht hindurchgesteckt, sein Ende um ein 3^{cm} langes, 2^{mm} dickes Stück Messing- oder Eisendraht herumgeschlungen und bei Bindfaden durch Anknüpfen, bei Draht durch Herumwinden des Endes um den geraden Theil des dünnen Drahtes befestigt. Die beiden Resonanzböden oder, wie man sie wegen des daran befindlichen Rahmens auch nennen kann, Resonanzkästen, sollen einander die mit dem Rahmen versehene Seite zuwenden, so daß sich die Querstäbchen von stärkerem Draht auf der freien Fläche der Resonanzböden befinden.

Stellt man die Versuche mit einem Bindfaden von nicht über 100^{m} Länge an, so genügt es, wenn von zwei Beobachtern jeder einen Rahmen mit beiden Händen faßt und den Resonanzboden nahe vor sein Gesicht und so hält, daß der Faden so straff gespannt ist, als es angeht, ohne ihn zu zerreißen, oder die dünnen Resonanzböden zu zersprengen. Das andauernde Halten mit den Händen ist aber sehr ermüdend und soll auf die Resonanzböden geklopft werden, so ist wenigstens noch ein dritter Beobachter nöthig; viel bequemer ist es, die Resonanzkästen anderswie zu befestigen, am besten in den Fenstern zweier Häuser, die sich in einer Entfernung von 100 bis 150^{m} gegenüberstehen. Jeder Resonanzkasten erhält dann als Unterlage ein Brett (Fig. 211 A) von 0,5 bis 0,^{m}6 Länge und etwas größerer Breite, als der Resonanzkasten hat; in der Mitte sind diese Bretter mit viereckigen oder kreisrunden Löchern von 6 bis 8^{cm} Weite versehen, durch welche der Faden frei hindurchgeht; damit sich die Resonanzkästen auf diesen Brettern nicht verschieben, schlägt man dicht neben denselben einige Drahtstifte in die Bretter. Hebt man einen Flügel eines Fensters aus, so läßt sich in der Regel das eine Brett so gegen das Fenstergewände und den zweiten Fensterflügel lehnen, daß es nach dem Straffspannen des Fadens keiner weitern Befestigung bedarf; das andere Brett kann man auch gegen das zweite Fenster lehnen, doch bekommt man dann den Faden, der sich erst nachher anknüpfen läßt, nicht ohne weiteres straff genug, man muß, nachdem er festgeknüpft ist, das Brett weiter zurückziehen, was am leichtesten geschieht, wenn man es an seinen vier Ecken mit Löchern versieht, in diesen Schnüre befestigt und die vier Schnüre straff zieht; an einem Thürgriff, einem Wandhaken oder dergl. werden die Schnüre dann befestigt. Das den Resonanzboden tragende Brett kann dabei frei schweben, ebensogut kann es aber auch auf dem Fensterbrett aufliegen oder, wenn man es weiter zurückgezogen hat, durch die Lehne eines Stuhles unterstützt werden; der den Schall leitende Faden soll nirgends aufliegen. Kann man nicht über die Fenster zweier passend gelegenen Häuser verfügen, so lassen sich die Resonanzkästen recht gut anbringen an zwei kleinen Leitern, die man im Freien aufstellt und durch rückwärts gespannte Schnüre hält; die Schnüre können, wenn nicht ein Baum oder dergl. in der Nähe ist, an in die Erde geschlagene Pflöcke gebunden werden, wie Fig 211 B zeigt. Man läßt in diesem Falle den Faden mitten zwischen zwei Sprossen einer Leiter hindurchgehen und schlägt in jede Leiter zwei Nägel, auf dem die Bretter aufliegen, damit sie nicht abwärts rutschen.

Eisendraht ist noch besser als Bindfaden und gestattet eine viel größere Entfernung zu nehmen, erfordert aber dann ziemlich hoch gelegene Befestigungspunkte, weil er sich seiner größern Schwere wegen in der Mitte bedeutend senkt; allenfalls kann man ihm in der Mitte eine Unterstützung geben, indem man zwei ziemlich lange Stangen (Bohnenstangen) derart schief in die Erde steckt, daß sie sich mit ihren Spitzen kreuzen, an den Kreuzungspunkt knüpft man ein Stück Bindfaden und an diesen den Draht, so daß letzterer 1 bis 2 Decimeter unter dem Kreuzungspunkte zwischen den Stangen durchgeht, ohne sie zu berühren. Das Ausspannen eines mehrere hundert Meter langen Drahtes ist ziemlich mühsam und erfordert immer mehrere Personen; man muß sich sehr vorsehen, daß der Draht gleich von vornherein ziemlich straff liegt und besonders nirgends eine Schleife bildet, weil diese beim nachherigen Straffziehen unfehlbar ein Brechen des Drahtes bewirkt. In der Regel ist

es nöthig, einen solchen langen Draht aus mehreren Stücken zusammenzusetzen; die zu vereinigenden Enden glüht man aus und dreht sie dann so zusammen, wie Fig. 211 C andeutet.

Benutzt man nicht quadratische Resonanzböden, sondern die länglichen Cigarrenkästchen, so muß man, beim Draht sowol, als beim Bindfaden darauf achten, daß die stärkeren Querdrähte, die zur Befestigung der Enden dienen, den langen Seiten der Kästen parallel liegen.

Die Schallerschütterungen, welche entweder von der Luft oder [beim Aufsetzen eines tönenden Körpers (Spieldose, Stimmgabel), beim Klopfen auf den Resonanzboden] unmittelbar dem Resonanzboden und durch ihn dem Ende des Drahtes oder Fadens mitgetheilt werden, pflanzen sich in diesem ganz ähnlich fort, wie in der Luft; jedes einzelne Theilchen des Drahtes oder Fadens macht eine sehr kleine Bewegung hin und zurück und ertheilt den nächsten Theilchen den Anstoß zu einer ähnlichen Bewegung; das letzte Theilchen des Drahtes überträgt dann die Bewegung auf den biegsamen Resonanzboden und dieser wegen seiner großen Fläche auf die umgebende Luft. Daß man bei den eben beschriebenen Versuchen einen leisen Schall viel weiter wahrnimmt, als bei der Fortpflanzung durch die Luft, liegt nicht eigentlich daran, daß die starren Körper den Schall besser leiten, als die Luft, sondern daran, daß der Schall in dem Draht oder Faden sich nur nach einer Richtung hin und deshalb mit fast ungeschwächter Kraft fortpflanzt, während er in der Luft vom Orte seiner Entstehung aus sich nach allen Seiten hin ausbreitend an Stärke abnimmt. Aehnliches kann man an den Wasserwellen beobachten; wirft man einen Stein in einen Teich, so sieht man, wie die von dem getroffenen Punkte der Wasseroberfläche kreisförmig sich ausbreitende Welle immer flacher wird, bringt man aber eine Welle hervor in einer langen, schmalen Rinne, wie man sie hier und da von Holz zum Fortleiten des Wassers verwendet, oder in einen ganz schmalen Graben mit geraden, recht glatten Wänden, so sieht man die Welle lange Strecken durchlaufen, ohne daß sie merklich an Höhe abnimmt.

Auch der Schall kann sich in der Luft auf sehr beträchtliche Entfernungen hin fast ungeschwächt fortpflanzen, wenn er verhindert wird, sich nach verschiedenen Seiten auszubreiten. Eine etwa 3^{cm} weite, an beiden Enden offene Röhre aus Blech ist zu diesem Zwecke sehr wol brauchbar; spricht man in das eine Ende derselben hinein, so werden die Luftwellen durch die Röhrenwände an ihrer seitlichen Ausbreitung verhindert und laufen durch die Länge der Röhre, indem sie nur wenig von ihrer Stärke durch Reibung der Lufttheilchen an den Röhrenwänden und dadurch verlieren, daß sie diese Wände etwas erschüttern. Solche Röhren, Schallröhren, wendet man bekanntlich auf Schiffen, in Gasthöfen, Fabriken u. dergl. vielfach an, um ziemlich weit von einander getrennte Räume miteinander zu verbinden; man kann sich durch diese Röhren mit größter Leichtigkeit unterhalten und es stört natürlich auch nicht, wenn die Röhren durch Wände und Decken hindurchgeführt sind, ja sie können sogar vielfach gebogen sein, ohne viel an ihrer Wirkung zu verlieren.

Kleinere biegsame Röhren werden von Schwerhörigen mit großem Vortheil als Hörrohr benutzt; es sind dies überklöppelte Kautschukschläuche oder Schläuche von der Art, wie sie als Elastics an Tabackspfeifen verwendet werden; an einem Ende tragen diese Röhren ein kurzes Horn- oder

Elfenbeinrohr, welches man in das Ohr einsetzt, am andern Ende ein trichterförmig erweitertes Mundstück, in das hineingesprochen wird.

Von der Wirksamkeit solcher Hörrohre kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein Ende eines 6 bis 8^{mm} weiten, einige Meter langen Kautschukschlauches in die Ohrmuschel so hineinsteckt, daß es sich an den Gehörgang ordentlich anschließt und dicht vor das andere Ende des Schlauches eine schwach angeschlagene Stimmgabel halten läßt; man vernimmt den Klang derselben so deutlich, als ob sie sich dicht am Ohre befände. In Ermangelung einer Stimmgabel kann man den Versuch auch mit dem knisternden Geräusch machen, das entsteht durch Aneinanderreiben der Ränder der Nägel von Daumen und Mittelfinger.

Viel weniger wirksam als Schallröhren und Hörrohre ist das Sprachrohr, welches kegelförmig, etwa 1^{m} lang ist und den Zweck hat, den Schall der menschlichen Stimme an seiner allseitigen Ausbreitung zu hindern und zu bewirken, daß er sich hauptsächlich nach einer Richtung fortpflanzt, nach derjenigen nämlich, der man das weite Ende des Rohres zukehrt, während man in das engere hineinspricht.

Der Unterschied zwischen der Fortpflanzung des Schalles in der Luft und einer Fortbewegung der Luft selbst läßt sich recht anschaulich machen mit Hülfe eines Luftstoßapparates.

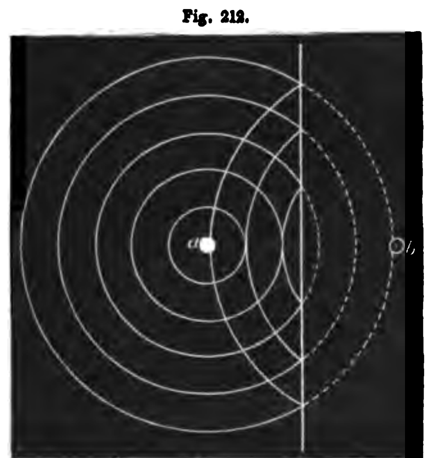
Es ist dies eine cylindrische Hülse aus starker Pappe, etwa 10^{cm} weit, 15^{cm} lang oder auch größer. An einem Ende ist dieselbe mit einem festgeleimten Deckel versehen, der in der Mitte eine kreisrunde Oeffnung von 2^{cm} (bis 3^{cm}) Durchmesser hat; das andere Ende ist verschlossen durch ein möglichst straff darübergespanntes, starkes Papier, das mit Bindfaden festgebunden wird. Das Papier (Packpapier oder Zeichenpapier) wird vor dem Aufspannen gut durchfeuchtet, man zieht es auf, wenn seine Oberfläche nicht mehr naßglänzend aussieht, vor dem Gebrauche muß es vollkommen trocken werden. Noch schöner und besonders dauerhafter ist ein Luftstoßapparat aus Blech, der anstatt mit Papier wie eine kleine Trommel mit Kalbfell oder mit Thierblase (der Festigkeit wegen am besten Rindsblase) überzogen ist; die Blechhülse muß mit einem umgelegten Rande versehen sein, damit das Fell ordentlich festgebunden werden kann, ohne denselben würde es abrutschen.

Klopft man mit dem Finger mäßig stark auf die Mitte des biegsamen Bodens eines Luftstoßapparates, so wird eine kleine Menge Luft mit ziemlicher Gewalt aus der Oeffnung herausgetrieben und bewegt sich ein ziemliches Stück fort. Füllt man den Apparat mit Rauch, indem man durch die nach unten gehaltene Oeffnung ein auf einen Draht gestecktes und angezündetes Stückchen Feuerschwamm von einigen Quadratcentimetern hineinschiebt und dieses darin verbrennen läßt, so sieht man diesen Rauch beim Klopfen in Gestalt eines schönen Ringes austreten, der sich zuerst mit großer, bald aber mit immer kleinerer Geschwindigkeit vorwärts bewegt, indem er allmählich an Größe zunimmt; ähnliche Ringe bringen bekanntlich Tabakraucher in kleinerem Maaßstabe durch stoßweises Blasen mit dem Munde hervor. Die Ringe sind am besten zu beobachten, wenn man den Apparat wagrecht hält und den Kopf in die Nähe desselben bringt, so daß sie sich nahezu geradlinig vom Auge entfernen, oder wenn man sich dem Apparat gerade gegenüberstellt, so daß sie sich geradlinig nähern. Der unmittelbare Augenschein lehrt, daß die Fortbewegungsgeschwindigkeit der Luft, obgleich gerade bei diesen Versuchen gegen andere Luftbewegung ziemlich bedeutend, doch ungleich geringer ist, als die des Schalles. Jemand, der in einer Entfernung von 2 bis 4^{m} dem Apparate gegenübersteht, hört den durch das Klopfen erzeugten Schall nicht merklich später als der, der ihn hervorbringt und sich in unmittelbarer Nähe des Apparates befindet, dagegen sieht er die

Ringe ganz gemächlich auf sich zukommen und fühlt, wenn sie sein Gesicht treffen, den Stoß derselben, während man von dem Schall nichts fühlt, wenn er nicht außerordentlich stark ist, d. h., wenn es nicht der Knall eines großen Geschützes ist. Man vermag übrigens mit einem solchen Apparate eine Kerzenflamme auf 2 bis 3^m Entfernung, wenn der Apparat groß ist sogar auf noch größere Entfernung auszublasen, wenn nur der Ring den Docht gerade mit einer Stelle seines Umfangs trifft, während ein viel lauterer Schall, als der durch das Klopfen hervorgebrachte ist, nicht die mindeste Einwirkung auf eine solche Flamme äußert. Während beim Schall eine nach allen Seiten fortschreitende Verdichtung und Verdünnung der Luft das Wesentliche ist, die einzelnen Lufttheilchen aber nur ganz wenig hin- und hergehen und deshalb keinen Körper, den sie berühren, merklich bewegen, wälzt sich die ganze fortgestoßene Luftmasse selbst nach einer Richtung vorwärts und stößt verhältnißmäßig kräftig an Körper, die ihr im Wege stehen; ein mit 2 Fäden am Arme eines Retortenhalters aufgehängtes Papierblatt wird sichtlich davon bewegt.

Läßt man auf die Mitte der Wasserfläche in einem kreisrunden Gefäße (Teller, Schüssel) einen Wassertropfen fallen, so kann man beobachten, daß die dadurch erzeugte Welle sich ringförmig ausbreitet, bis sie den Rand des Gefäßes erreicht, da aber verschwindet sie nicht, sondern sie kehrt zurück, indem sie einen sich wieder verengernden Ring bildet, der sich bis zum Mittelpunkte zusammenzieht; man bezeichnet diese Erscheinung: die Welle wird vom starren Rande des Gefäßes **zurückgeworfen (reflectirt)**. Findet die **Zurückwerfung (Reflexion)** an einer geraden Wand (etwa am Rande eines viereckigen Wassertroges) statt, so geht die zurückgeworfene Welle nicht wieder nach ihrem Ausgangspunkte zurück, sondern sie breitet sich nach rückwärts weiter aus und zwar so, wie sie sich ausbreiten würde, wenn sie von einem Punkte herkäme, der so weit hinter der zurückwerfenden Wand liegt, als sich der Punkt, von welchem sie wirklich ausgeht, vor derselben befindet. Fig. 212 stellt die Erscheinung dar, wie man sie erhält, wenn man mehrere Wellen in gleichmäßigen Zeitabschnitten nach einander bei a erzeugt, die zurückgeworfenen Wellen breiten sich so aus, als ob sie von b herkämen.

Fig. 212.



Auch in starren Körpern findet eine Zurückwerfung der Wellen statt, wenn diese an die Gränze eines Körpers gelangen. Knüpft man das eine Ende einer Schnur von 5 bis 10^m Länge an einem festen Punkte (einer Thürklinke, einem Wandhaken) an, hält das andere Ende mit der Hand mäßig straff, so daß die Schnur ohngefähr wagrecht liegt, und giebt dann mit der Hand einen kleinen Ruck nach der Seite oder nach unten, so bildet sich eine Ausbiegung in der Schnure, die ebenfalls als Welle sich fortpflanzt, und von dem festen Punkte aus deutlich sichtbar zurückkehrt; knüpft man die

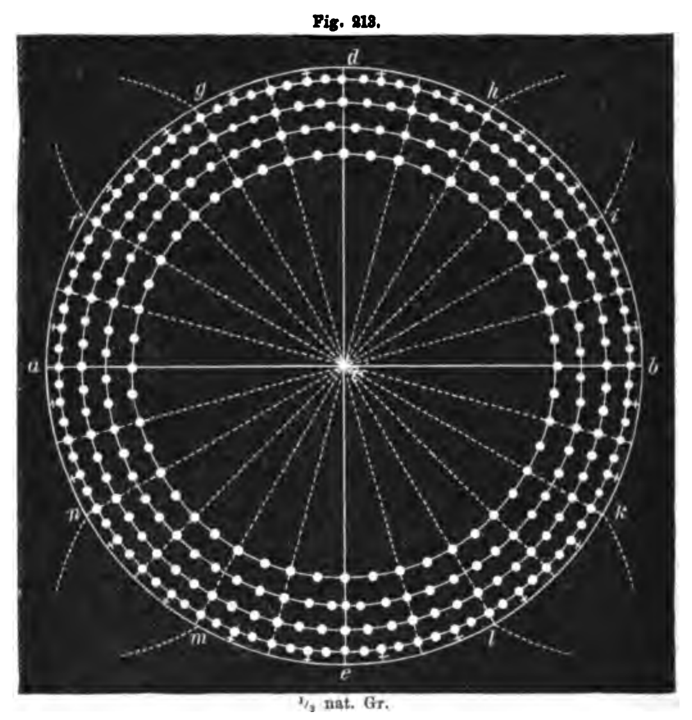
Schnur an beiden Enden fest und erzeugt die Welle dadurch, daß man die Schnur nahe an einem Ende zwischen zwei Finger faßt und sie etwas seitwärts zupft, so kann man beobachten, wie die Welle die Länge der Schnure mehrmals hin und her durchläuft, indem sie jedesmal am Ende zurückgeworfen wird. Stellt man den im Vorhergehenden beschriebenen Schallleitungsversuch mit einem Eisendraht von einigen Hundert Meter Länge an und klopft mit einem Stift oder Stäbchen ein einzelnes Mal kräftig auf einen Resonanzkasten, so hört man den Schall an jedem Ende des Drahtes sehr schnell hintereinander 6 bis 8 Mal mit immer abnehmender Stärke; die im Drahte fortgepflanzte Welle wird an jedem Ende wiederholt reflectirt. Mit kürzeren Drähten kann man die Reflexion nicht deutlich wahrnehmen, weil wegen ihrer großen Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Eisen die Welle so schnell an den Ausgangspunkt zurückkommt, daß das Ohr die einzelnen, rasch aufeinanderfolgenden Schalle nicht zu unterscheiden vermag.

Wenn die in der Luft sich verbreitenden Schallwellen auf einen starren Körper von beträchtlicher Ausdehnung treffen, so werden sie ebenfalls zurückgeworfen; auf solche Weise entsteht das Echo. An kleinen starren Gegenständen findet zwar auch eine Reflexion der Schallwellen statt, der zurückgeworfene Schall ist aber zu schwach, um ohne besondere Hülfsmittel wahrgenommen zu werden; um ein deutlich hörbares Echo hervorzubringen, ist wenigstens eine größere Wand eines Gebäudes erforderlich. Sehr schöne Echos entstehen auch durch gerade Ränder von Wäldern, die großartigsten durch schroffe Felsenberge. Die zahllosen kleinen Echos, die sich in jeder Stadt vorfinden, werden am Tage fast nie bemerkt, sie werden durch das allgemeine Geräusch übertönt; bringt man aber bei ruhiger Nacht auf einer von Gebäuden besetzten Straße, einem Marktplatz oder dergl. ein kurzes Geräusch (durch Aufstoßen des Fußes auf das Pflaster, durch Händeklatschen) hervor, so vernimmt man fast immer ein einfaches, häufig ein mehrfaches Echo. Wenn wir uns 17^m (etwa 23 Schritt) von der reflectirenden Wand befinden, so braucht der von uns erzeugte Schall $\frac{17}{340} = \frac{1}{20}$ Secunde, um von uns bis zur Wand, und ebenso lange, um von da bis zu uns zurückzukehren, er kommt also 0,1 Secunde nach seiner Entstehung wieder bei uns an; diese Zeit ist so klein, daß wir das Echo nur dann deutlich von dem ursprünglichen Laut unterscheiden, wenn derselbe kurz, scharf und hinlänglich kräftig ist; bei einem nur einigermaßen andauernden Schall, wie bei einem Ruf, verschwimmt das Echo mit dem ursprünglichen Laute. Ist aber die Entfernung der reflectirenden Wand von uns größer, so daß der Schall erst nach längerer Zeit zu uns zurückkehrt, so kann man ganze Silben und Worte, bei großen Echos selbst kurze, auf einer Trompete geblasene Melodien vernehmen. Mehrfache Echos können auf zweierlei Weise zu Stande kommen, nämlich entweder dadurch, daß der Schall zwischen zwei einander gegenüberstehenden Wänden wiederholt hin- und hergeworfen wird, oder dadurch, daß sich mehrere Wände in verschiedener Entfernung von unserem Standpunkte befinden, von denen der Schall nach verschieden langer Zeit zu uns zurückkommt.

Will man in einer Straße von geringer Breite das Echo wahrnehmen, so darf man sich nicht in der Mitte derselben aufstellen, sondern an einer Seite, damit der Schall nicht nur die halbe, sondern die ganze Breite derselben hin und her durchlaufen muß.

33. Sirene, Tonhöhe, Schwingungszahl. Die Gehörempfindungen sind von außerordentlich großer Mannichfaltigkeit; wenn wir von der verschiedenen Stärke des Schalles absehen, ist es vor allem der Unterschied zwischen den Geräuschen und Tönen, der uns auffällt. Manche Geräusche, insbesondere die, welche wir als Knall oder Schlag bezeichnen, bestehen aus einer einzigen, kräftigen Erschütterung der Luft, wie sich leicht aus der Art ihrer Entstehung erkennen läßt; andere, wie Klappern, Rauschen, Zischen und ähnliche bestehen aus mehreren, oder vielen solchen Erschütterungen, die entweder in unregelmäßigen Zwischenräumen oder so langsam aufeinanderfolgen, daß wir sie einzeln wahrnehmen können. Dagegen werden die Arten von Schall, welche wir als Ton bezeichnen, immer verursacht durch eine größere Zahl von

Fig. 213.



$^1/_3$ nat. Gr.

Erschütterungen, die in ganz regelmäßigen Zwischenräumen und sehr schnell aufeinanderfolgen. Es wurde schon oben erwähnt, daß das Tönen der Körper in vielen Fällen leicht als eine zitternde Bewegung ihrer Theilchen zu erkennen ist, die Theile derselben machen Schwingungen, die eine gewisse Aehnlichkeit mit den Pendelschwingungen haben; es bewegen sich nämlich die Theilchen eines tönenden Körpers ebenfalls um eine gewisse Gleichgewichtslage der Art hin und her, daß zum jedesmaligen Durchlaufen ihres Weges genau die nämliche Zeit erforderlich ist; nur sind die Wege, welche die Theilchen eines tönenden Körpers durchlaufen und ihre Schwingungszeiten viel kleiner, als die Bögen, welche unsere gewöhnlichen Pendel beschreiben und deren Schwingungszeiten. Für die genauere Kenntniß des Wesens der Töne ist es sehr wichtig, diese Schwingungszeiten zu kennen, oder, was auf dasselbe

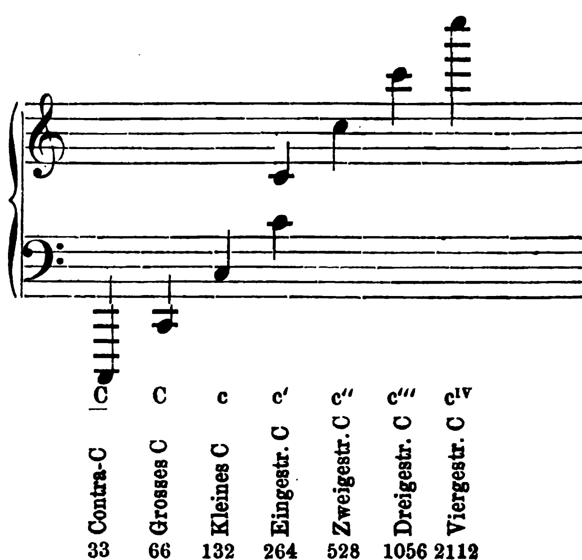
hinausläuft, die **Schwingungszahlen**, d. h. die Zahlen, welche angeben, wie viel Schwingungen in einer Secunde geschehen.[35] Die Ermittelung der Schwingungszahlen an wirklichen durch Schwingung tönenden Körpern ist mit beträchtlichen Schwierigkeiten verknüpft; leichter lassen sie sich ermitteln mit Hülfe der sogenannten **Sirene**. Die Sirene ist ein Apparat zur Erzeugung sehr verschiedener Töne, bei dem aber nicht ein Körper in selbstständige Schwingungen versetzt wird, sondern der gestattet, einzelne Luftstöße sehr regelmäßig rasch aufeinanderfolgen zu lassen. Die einfachste Sirene erhält man, wenn man auf die Schwungmaschine eine mit kreisförmig angeordneten Löcherreihen versehene Pappscheibe aufschraubt, welche so groß ist, daß keine der Löcherreihen durch die Scheibe der Schwungmaschine verdeckt wird. Bei der Größe, welche unsere Schwungmaschine hat, empfiehlt es sich, vier Reihen von beziehentlich 48, 60, 72 und 96 Löchern in der Scheibe anzubringen, wie Fig. 213 zeigt. Bläst man mit dem Munde durch ein Röhrchen, dessen lichte Weite etwa so groß ist, als der Durchmesser der Löcher in der Pappscheibe und das man von oben oder von unten her bis ziemlich dicht an die letztere heranführt, so kann nur wenig Luft ausströmen, wenn sich das Rohr über einer undurchbohrten Stelle der Pappe befindet; dagegen tritt die Luft ungehindert aus, wenn das Rohr gerade vor einem Loche endigt. Dreht man die Schwungmaschine und hält die Mündung des Rohres an eine Löcherreihe, so wird dem Luftstrome der Weg in jeder Secunde soviele Male versperrt und wieder geöffnet, als Löcher vorbeigehen; benutzt man die Reihe mit 48 Löchern und dreht die Kurbel der Schwungmaschine so, daß die Pappscheibe sich in 1 Secunde 6 Mal umdreht, so gehen in dieser Zeit $6 \cdot 48 = 288$ Löcher vor dem Rohre vorbei, der aus diesem austretende Luftstrom wird 288 mal unterbrochen und wiederhergestellt, es entstehen in der Secunde 288 Luftstöße und diese bringen in unserem Ohre die Empfindung eines Tones hervor. Der Ton dieser Sirene klingt freilich schlecht, rauh und heiser, weil er von einem lebhaften Geräusch begleitet wird (die Luft, welche aus dem Rohre austritt, während sich vor diesem kein Loch befindet, bewirkt ein sehr hörbares Zischen), für gewisse Zwecke ist er jedoch ganz brauchbar; es gibt allerdings Sirenen, welche viel bequemer sind und viel reinere Töne geben, als die unsrige, diese sind aber sehr zusammengesetzt und kostbar.

Man halte zunächst die Rohrmündung an irgend eine der vier Reihen, blase möglichst anhaltend und drehe die Kurbel erst ganz langsam und allmählich immer schneller und schneller. Im Anfang hört man keinen wirklichen Ton, sondern nur das Sausen der Luft, bei einer gewissen Geschwindigkeit aber wird neben diesem Sausen noch ein tiefer Ton hörbar, nämlich dann, wenn 90 bis 100 Luftstöße in der Secunde erfolgen. Die durch die größten Orgelpfeifen hervorgebrachten, hörbaren Töne machen nur 32 Schwingungen in der Secunde, diese sehr tiefen Töne sind aber nur schwer wahrzunehmen; bei der Sirene werden sie durch das Luftgeräusch übertönt und erst wenn die Lufterschütterungen rascher aufeinanderfolgen und da-

[35] Ist $\frac{1}{500}$ Secunde die Schwingungszeit eines tönenden Körpers, so ist 500 seine Schwingungszahl; immer findet man die Schwingungszahl, wenn man mit der Schwingungszeit in 1 dividirt und umgekehrt die Schwingungszeit, wenn man mit der Schwingungszahl in 1 dividirt.

durch einen etwas höhern, leichter vernehmlichen Ton geben, erkennt man ihn trotz des begleitenden Geräusches. In dem Maße, wie man schneller dreht, hört man den Ton höher werden, bis man bei der größten Geschwindigkeit angelangt ist, welche man der Schwungmaschine mit der Hand ertheilen kann; läßt man dann die Maschine auslaufen, ohne weiter zu drehen, so wird der Ton wieder tiefer und tiefer, bis er sich in dem Luftgeräusch verliert; solange man die Umlaufgeschwindigkeit der Löcherscheibe möglichst gleichmäßig erhält, solange bleibt auch die Höhe des Tones unverändert. Wir erfahren durch diese Versuche zunächst, daß die Höhe des Sirenentones abhängt von der Geschwindigkeit, mit welcher die einzelnen Erschütterungen (Schwingungen) der Luft aufeinanderfolgen, daß die Höhe mit dieser Geschwindigkeit, oder mit der Schwingungszahl ab- und zunimmt. Um aber weiter zu untersuchen, in welchem Verhältnisse die Schwingungszahlen zweier Töne von verschiedener Höhe stehen, blasen wir zwei oder mehrere Löcherreihen bei gleicher Umlaufsgeschwindigkeit an, entweder nach einander, während wir die Drehungsgeschwindigkeit möglichst genau gleich halten oder gleichzeitig mit Hülfe zweier oder mehrerer Röhren. Man überzeugt sich leicht, daß die 4 Töne den sogenannten Durdreiklang mit der Octave des Grundtones bilden. Dreht man die Pappscheibe in jeder Secunde 5,5 Mal um (was nahezu $\frac{11}{12}$ Umdrehungen der Kurbel unserer Schwungmaschine erfordert), so sind die Töne der vier Reihen, von der innersten nach der äußersten gehend

sie geben also den Dreiklang von C-Dur. Mit gewönhnlicher Schrift (ohne Notenlinien) bezeichnet man diese Töne c′, e′, g′, c″. Die verschiedenen Octaven des Tones C erhalten in gewöhnlicher Schrift die beigesetzten Bezeichnungen:



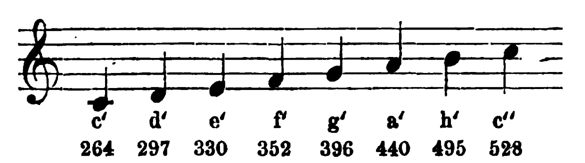
Die zwischen zwei C liegenden Töne werden so bezeichnet, wie das nächst tiefer liegende C; der Ton der gewöhnlichen Stimmgabel ist nach dieser Schreibart a' und heißt das „eingestrichene a". Aus der Anzahl Löcher in den verschiedenen Reihen ergiebt sich, daß der Ton e' $\frac{5}{4}$ mal so viel, der Ton g' $\frac{3}{2}$ mal so viel, der Ton c'' 2 mal so viel Schwingungen macht, als der Ton c'. In der Musik hat man besondere Namen für Töne, welche um ein bestimmtes Maß höher (oder tiefer) sind, als irgendein Ton, welcher Grundton (Tonica) genannt wird, die Größe des Höhenunterschiedes heißt Intervall.

Ein Ton, welcher soviel über dem Grundton liegt,
wie c'' über c' heißt die Octave des Grundtons.
„ g' „ c' „ „ Quinte „ „
„ c'' „ g' „ „ Quarte „ „
„ e' „ c'' „ „ große Terz „ „
„ g' „ e' „ „ kleine Terz „ „

Die Töne der Dur-Tonleiter sind außer denen des Dreiklangs noch die Quarte, die Terz über der Quarte und die Terz und Quinte über der Quinte, beispielsweise die Töne vor C Dur c', e', g', ferner f' (Quarte von c') und a' (Terz von f'), h' (Terz von g') und d'' (Quinte von g') oder, wenn wir von d'' die tiefere Octave nehmen d'. Nach ihrer Höhe ordnen sich die Töne folgendermaaßen c', d', e', f', g', a', h', c''.

Dreht man die Scheibe der Sirene mit irgend einer anderen, als der oben angenommenen, wieder aber mit einer möglichst gleichmäßigen Geschwindigkeit, so geben die Löcherreihen beim Anblasen andere Töne, immer aber geben die vier Reihen zusammen einen Durdreiklang, immer ist also der Ton, welcher doppelt soviel Schwingungen macht, als ein anderer, die Octave des letzteren, der welcher $\frac{5}{4}$ mal soviel Schwingungen macht, die große Terz u. s. f.; wir gelangen also durch diese Versuche zu dem wichtigen Resultate, daß das Intervall zweier Töne nur von dem Verhältniß ihrer Schwingungszahlen abhängt, welches auch die Höhe der Töne an und für sich sein mag. Danach ergeben sich zunächst die Schwingungszahlen für die verschiedenen C, wie sie oben unter die Bezeichnung derselben gesetzt sind; es ist einfach die Schwingungszahl einer jeden Octave das Doppelte von der ihres Grundtones. Ferner können wir leicht die Schwingungszahlen für die übrigen Töne der Tonleiter berechnen. Der Ton g', die Quinte von c' macht $\frac{3}{2} \cdot 264 = 396$ Schwingungen, e', die Terz von c' macht $\frac{5}{4} \cdot 264 = 330$ Schwingungen in der Secunde. Die Quarte e' f' muß dasselbe Schwingungszahlenverhältniß haben, wie die Quarte g' c'; nun ist die Zahl der äußeren Löcherreihe $96 = \frac{4}{3} \cdot 72$, es muß danach auch die Schwingungszahl von f' $\frac{4}{3} \cdot 264 = 352$ sein. Der Ton a', die Terz von f' hat die Schwingungszahl $\frac{5}{4} \cdot 352 = 440$, h', die Terz von g' $\frac{5}{4} \cdot 396 = 495$ und endlich d'',

die Quinte von g' $\frac{3}{2} \cdot 396 = 594$, die tiefere Octave von d'', der Ton d' also $\frac{594}{2} = 297$. Der Reihe nach:



Das Anblasen ist übrigens nicht die einzige Art, die Sirene zum Tönen zu bringen, auch auf mittelbare Weise läßt sich dieselbe zu rasch aufeinanderfolgenden Erschütterungen der Luft verwenden. Hält man eine Ecke eines gewöhnlichen Kartenblattes flach und etwas geneigt gegen eine Löcherreihe der gedrehten Scheibe, so entsteht ein Ton, der etwas schärfer ist, aber gleiche Höhe hat mit dem, welchen man durch Anblasen erhalten würde; das biegsame Kartenblatt wird jedesmal, wenn es ein zwischen zwei Löchern befindliches Pappstück trifft, etwas zurückgebogen und geht infolge seiner Elasticität sofort wieder in seine frühere Lage zurück; es macht also so viele Hin- und Hergänge, als Löcher bei ihm vorbeigehen, bei jedem Hin- und Hergange aber versetzt es die umgebende Luft mit in Bewegung und erzeugt dadurch den Ton.

Einen recht hohen Ton kann man hervorbringen, wenn man auf die Schwungmaschine keine Pappscheibe befestigt, sondern nur die Schraube aufsetzt und an den gerieften Rand dieser ein Kartenblatt hält. Die Anzahl der Riefen an unserer Schraube beträgt etwa 150, durch recht schnelles Drehen an der Kurbel lassen sich etwa 30 Umdrehungen der Schwungaxe in der Secunde hervorbringen; bei 28 Umdrehungen erhält man einen Ton von $28 \cdot 150 = 4200$ Schwingungen, also nahezu den Ton c^{v}.

Die Löcherscheibe macht man aus dünner Pappe, am besten aus sogenannter Cartonpappe, die noch nicht 1^{mm} dick, dabei schön glatt und ziemlich steif ist, oder aus der ebenfalls sehr festen und glatten Pappart, welche unter dem Namen Preßspahn bei der Appretur der Zeuge verwendet wird; der Preßspahn hat nur das Unbequeme, daß man wegen zu großer Glätte nicht mit Bleistift darauf zeichnen kann; man muß entweder mit Reißfeder und Tusche arbeiten oder sich die auszuschlagenden Löcher auf ein viereckiges Papierstück vorzeichnen, das man dann mit den Ecken auf den Preßspahn aufklebt und mit ihm zugleich durchschlägt. Aus dem Mittelpunkte c (Fig. 213) der Scheibe beschreibt man zunächst fünf Kreise mit den Halbmessern 8,5, 9,5, 10,5, 11,5 und 12^{cm}, theilt das Ganze durch zwei aufeinander rechtwinkelige Durchmesser a b und d e in vier Theile, beschreibt aus den Punkten a, b, d und e mit dem Halbmesser von 12^{cm} nach beiden Seiten Kreisbögen und verbindet die dadurch bestimmten Punkte paarweise durch gerade Linien, also f mit k, g mit l, h mit m und i mit n. Durch dieses Verfahren werden alle Kreise in je 12 Theile getheilt. Nun bestimmt man die Orte für die Löcher des (von innen nach außen gezählt) zweiten Kreises, indem man durch Probiren mit dem Zirkel jedes Zwölftel dieses Kreises in 5 Theile theilt. Hierauf halbirt man die Zwölftel des äußeren Kreises und zieht die 6 in der Figur nicht mit Buchstaben bezeichneten Durchmesser. Die so erhaltenen Vierundzwanzigstel werden auf dem dritten Kreise durch Probiren in je 3 Theile getheilt, auf dem vierten Kreise halbirt und die dadurch entstehenden Achtundvierzigstel nochmals halbirt. So erhält man auf dem dritten Kreise 72, auf dem vierten 96 Punkte; die 48 Punkte des ersten Kreises erhält man, indem man die in der Figur mit kleinen Kreuzen bezeichneten Punkte paarweise durch gerade Linien verbindet; diese

Linien sind in der Figur weggelassen, um dieselbe nicht zu sehr zu überladen. Das Ausschlagen der Löcher geschieht mit einem hohlen Durchschlag von etwa 4^{mm} Durchmesser, den man sich für diesen Zweck vom Gürtler, Riemer oder Tapezierer leihen kann; vor dem eigentlichen Ausschlagen muß man um die Punkte herum, welcher die Mitten der einzelnen Löcher bezeichnen, Kreise von etwa 6^{mm} Durchmesser ziehen, was bei nur einiger Fertigkeit im Zeichnen leicht aus freier Hand, besser noch mit Hülfe eines sogenannten Nullenzirkels geschieht. Anstatt dieser Kreise kann man sich auch einen Anhalt zum richtigen Aufsetzen des Durchschlags dadurch verschaffen, daß man ein rundes Eisenstäbchen, welches sich eben in den Durchschlag hineinschieben läßt, einerseits spitz zufeilt und dasselbe allemal mit der Spitze in einen der Punkte einsticht; der Durchschlag wird dann über das Stäbchen geschoben.

Einige Schwierigkeit macht es, die Schwungmaschine gleichmäßig zu drehen, besonders, wenn man zugleich blasen will; am besten ist es, wenn zwei Personen die Versuche zusammen machen, von denen eine dreht, die andere bläst; es kann dann die eine ihre Aufmerksamkeit ausschließlich auf das gleichmäßige Drehen, die andere auf das Blasen und die Beobachtung der Töne verwenden. Zum Anblasen bedient man sich eines Glas- oder Kautschukrohres von 20 bis 30^{cm} Länge, dessen eines Ende man zwischen den Lippen hält, während man das andere mit der Hand führt.

Die Beobachtung der Intervalle zwischen den Tönen der verschiedenen Löcherreihen geschieht am leichtesten, wenn man das Blasrohr schnell über die vier Reihen hin- und herführt, sodaß man die Töne in rascher Aufeinanderfolge zu hören bekommt; zum gleichzeitigen Anblasen von mehreren Reihen kann man, wenn ein Gehülfe dreht, zwei oder auch drei Schläuche oder Röhren zugleich in den Mund nehmen und mit den Händen halten; bequemer ist es, passend gebogene, kurze Glasröhren mittelst eines siegellackverkitteten Korkes einzusetzen in ein weiteres Glasrohr, in das man bläst. Zum gleichzeitigen Anblasen aller vier Reihen empfiehlt sich eine viereckige Hülse von Pappe (oder auch von Blech) die an einem Ende offen, am andern Ende durch einen Boden mit 4 Löchern von 3^{mm} Weite verschlossen ist. Man macht sie etwa 15^{cm} lang, 4^{cm} breit und 4^{mm} weit; zweckmäßig ist es, wenn sie nur am verschlossenen Ende 4^{cm} breit, am offenen Ende beträchtlich schmäler ist. Man hält dieselbe senkrecht über die Sirenenscheibe, sodaß sich die vier Löcher ihres Bodens nahe über den vier Löcherreihen der letzteren befinden.

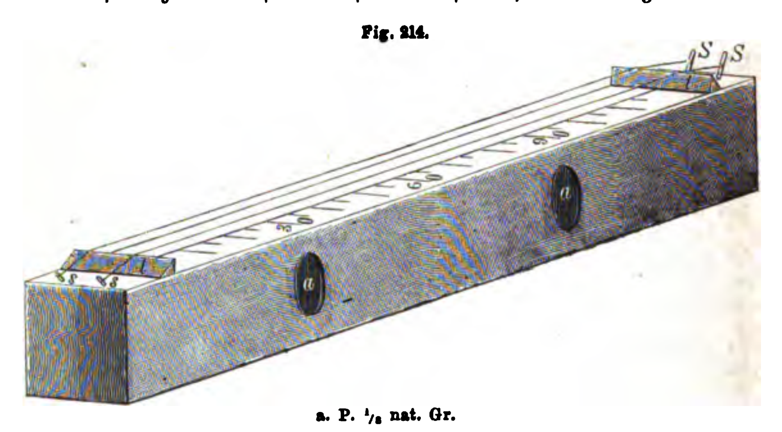
34. Schwingungen der Saiten, Obertöne, Resonanz, Klangfarbe. Zur Erzeugung musikalischer Töne dienen sehr häufig die Schwingungen, welche starre Körper machen, wenn durch irgend eine Kraft eine Veränderung ihrer ursprünglichen Form oder Lage hervorgebracht wird und sie dann sich selbst überlassen werden. Es ist dies, außer bei Glocken, Stimmgabeln, Trommeln, Becken, Glas- und Stahlharmonica u. dergl. insbesondere der Fall bei allen Saiteninstrumenten. Das Studium der Schwingungen gespannter Saiten ist sehr geeignet, über vielerlei akustische Verhältnisse Aufklärung zu geben, die Herstellung eines einfachen Apparates zu Versuchen mit Saiten ist deshalb sehr zu empfehlen.

Spannt man eine Saite straff aus zwischen zwei starken Nägeln, die in zwei gut sitzende Dübel in einer gemauerten Wand eingeschlagen sind, und zupft diese Saite mit den Fingern oder streicht sie mit dem Fidelbogen, so sieht man, daß sie ebensogut schwingt, wie die Saite irgend eines musikalischen Instrumentes, man hört aber von einem Ton wenig oder nichts. Selbst dann, wenn man die Saite nur an die beiden Angeln eines Thürstocks befestigt, von dem man die Thür ausgehoben hat, ist der Ton, welchen sie giebt, sehr schwach. Die Oberfläche einer Saite ist so klein, diese berührt die Luft in so wenig Punkten, daß sie keine kräftige Bewegung derselben hervorbringen und also auch keinen starken Ton erzeugen kann; dazu ist vielmehr nothwendig, daß die Saite ihre Bewegung zunächst auf einen größeren,

flachen, dünnen Resonanzboden überträgt (wie der Draht oder Faden bei den Schallleitungsversuchen); dieser Resonanzboden vermittelt durch seine große Oberfläche die Umsetzung der Schwingungen der Saite in Schwingungen der umgebenden Luft. Alle Saiteninstrumente sind mit Resonanzböden oder Resonanzkästen versehen. Zu akustischen Versuchen bedient man sich eines sehr einfachen Instrumentes, das den Namen **Monochord** (Einsaiter) führt, obgleich man es fast immer mit 2 oder 3 Saiten herstellt.

Ein für unsere Zwecke ganz hinreichendes Monochord zeigt Fig. 214 Man läßt sich vom Tischler eine Art Kasten ohne Boden machen, womöglich 140^{cm} lang, 12^{cm} breit und ebenso hoch. Die langen Wände brauchen nur etwa 12^{mm} dick zu sein, sie können einige kreisrunde Ausschnitte haben, wie sie die Figur zeigt (a a), doch ist dies nicht nöthig; die kurzen Wände sollen wenigstens 20^{mm} Dicke haben; alle 4 Wände müssen aus hartem Holz gemacht werden; das obere Brett aber soll weich und möglichst dünn sein, am besten ist ein Tannenfournier von 2^{mm} Dicke, doch genügt auch ein anderes, nicht ganz so dünnes Brettchen. Zwei Stege *ll*, rechtwinkelig dreieckige Leistchen von hartem Holz, je 12^{cm} lang, 2^{cm} breit und 2^{cm} hoch, sind so auf den Resonanzkasten geleimt, daß sie ihre senkrechten Wände einander zukehren, die schrägen aber nach dem Ende des Kastens zu und daß der Abstand der senkrechten Wände gerade 120^{cm} be-

Fig. 214.



a. P. 1/8 nat. Gr.

trägt. (Muß man aus Rücksicht auf Raum oder Kosten sich mit einem kleinen Monochord begnügen, so lasse man dasselbe 80^{cm} lang und den Abstand der beiden Leisten 60^{cm} groß machen). In die eine kurze Wand schraubt man zwei Eisenstifte ss in etwas schräger Richtung ein; man nimmt dazu Holzschrauben, von denen man die Köpfe abgeschnitten hat und die man behufs des Einschraubens in den Feilkloben spannt; diese Stifte sollen von jedem Längsrande des Instrumentes 3^{cm}, unter sich 6^{cm} abstehen; die Drahtsaiten, mit denen man das Monochord bezieht, werden mit Oesen an diese Stifte gehängt. An das andere Ende des Monochords kommen in ähnlicher Stellung zwei stärkere Stifte SS, die man aus 6^{mm} starkem Rundeisen 6 bis 8^{cm} lang herstellt. Am unteren Ende feilt man dieselben spitz und versieht sie auf eine Länge von 3 bis 4^{cm} mit Schraubengewinde, 3^{cm} unter dem oberen Ende werden sie 1^{mm} weit, 1^{cm} unter dem oberen Ende 2 bis 3^{mm} weit durchbohrt. Die Löcher für diese Stifte bohrt man tief in die starke Querwand des Monochord hinein, so eng, daß sich die Stifte nur mit ziemlicher Gewalt unter Anwendung eines durch das obere Loch gesteckten Spannstiftes hineinschrauben lassen; das Ende der Saite wird durch das 1^{mm} weite Loch gesteckt und dann die Saite durch Anziehen des Stiftes einigemal um diesen herumgewunden und schließlich straff gespannt. Als Saiten benutzt man Stahldraht (Claviersaiten) von $0^{mm},8$ bis 1^{mm} Dicke, allenfalls geht auch ungeglühter Eisendraht an. Die äußersten Enden des Drahtes muß man, damit sie

nicht brechen, in der Lampe ausglühen, das eine etwa 6^{cm} lang; man biegt dann 3^{cm} davon um und dreht das doppelte Stück zusammen, so daß am Ende eine Oese entsteht; von dem andern Ende glüht man nur 1^{cm} aus, weil man nur ein kurzes Stück zum Einstecken in das Loch rechtwinkelig umzubiegen braucht. In der Mitte des Monochords zieht man von einem Steg bis zum andern eine Linie, die man in Centimeter eintheilt, bequem ist es, auch hier eine Eintheilung mit schwarzen, weißen und rothen Feldern anzubringen, wie sie in Fig. 163 angedeutet ist.

Zu dem Instrument gehört auch ein Klötzchen, genau so hoch wie die Stege, und so lang als das Monochord breit ist, die Breite des Klötzchens kann etwa 6^{cm} betragen.

Im Folgenden ist ein Instrument mit 120^{cm} langen Saiten, d. h. mit 120^{cm} Abstand der Stege angenommen; für den Fall, daß man ein nur halb so großes hat, muß man natürlich alle folgenden Zahlen, die sich auf die Saitenlänge beziehen, halbirt denken.

Man kann das Monochord gleich anfangs mit 2 Saiten bespannen, obgleich man zunächst nur eine braucht. Solange die Saite noch ziemlich schlaff ist, giebt sie keinen ordentlichen Ton, man spannt sie hinlänglich stark an und dann nach und nach noch etwas stärker, dabei zeigt sich, daß mit zunehmender Spannung der Ton der Saite immer höher wird. Der Grund davon ist unschwer einzusehen. Die Saite, die man mit dem Finger etwas aus ihrer Gleichgewichtslage herauszieht, wird durch die Spannung wieder in diese Lage zurückgeführt; dabei geräth sie natürlich in um so schnellere Bewegung, je größer die Kraft ist, welche sie in Bewegung versetzt, also je stärker sie gespannt ist. In der Gleichgewichtslage angelangt, hat die Saite einen gewissen Arbeitsinhalt; sie geht nun, durch das Beharrungsvermögen getrieben, nach der entgegengesetzten Seite über die Gleichgewichtslage hinaus, bis dieser Arbeitsinhalt durch den Widerstand, welcher die Spannung dieser Ausbiegung entgegensetzt, aufgezehrt ist, dann kehrt sie wieder um, um die nämliche Bewegung in entgegengesetzter Richtung auszuführen u. s. f.

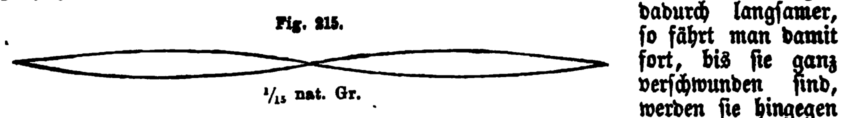
Die Schwingungen einer Saite gehen nicht so lange fort, wie die eines Pendels, mit denen sie sonst viele Aehnlichkeit haben, weil die Saite nach und nach ihren Arbeitsinhalt verbraucht, um die starren Körper, an denen sie befestigt ist, und durch diese die Luft in Bewegung zu versetzen. Je größer die spannende Kraft ist, um so schneller erfolgen unter sonst gleichen Umständen die Schwingungen, um so höher ist der Ton; läßt man dieselbe spannende Kraft auf gleich lange Saiten von verschiedenem Gewicht wirken, so bekommt man um so langsamere Schwingungen, um so tiefere Töne, je schwerer die Saiten sind. Zu derartigen Versuchen gehören, wenn sie irgend zuverlässige Ergebnisse liefern sollen, noch etwas zusammengesetztere Vorrichtungen, als unser Monochord, doch läßt sich die Richtigkeit des eben behaupteten Satzes auch ohne Versuche durch Ueberlegung leicht erkennen. Wir haben bei den Versuchen mit der Fallmaschine gelernt, daß gleich große Kräfte um so langsamere Bewegungen hervorbringen, je größer die Massen sind, auf welche sie wirken; ganz das nämliche findet nun bei den schwingenden Saiten statt; je größer das Gewicht ist, welches die spannende Kraft in Bewegung zu versetzen hat, um so kleiner wird die Geschwindigkeit, um so langsamer erfolgen die Schwingungen. Bei den musikalischen Instrumenten werden die Saiten, welche zur Erzeugung der tieferen Töne dienen, absichtlich beschwert, indem man den inneren, eigentlich gespannten Theil, der aus Seide, gedrehten Därmen oder Stahldraht besteht, mit dünnem Messing- oder Kupferdraht umwickelt.

Die Saite des Monochords läßt sich beliebig verkürzen, indem man das Klötzchen unter dieselbe schiebt und dicht an der Kante desselben den Finger auf sie drückt; der frei liegende Theil der Saite verhält sich dann ganz wie eine kürzere Saite. Schiebt man den Rand des Klötzchens gerade unter die Mitte (bei 60cm), so giebt die freie Hälfte der Saite genau die Octave des Tones der ganzen Saite, läßt man $^2/_3$ (80cm) der Saite schwingen, so erhält man die Quinte, bei $^3/_4$ der Länge (90cm) die Quarte. Nimmt man der Reihe nach die Längen 120, $106^2/_3$, 96, 90, 80, 72, 64, 60cm, so erhält man eine ganze Dur-Tonleiter.

Man erhält also bei $^1/_2$ der ursprünglichen Länge die Octave, d. i. die doppelte Schwingungszahl von der des ursprünglichen Tones, bei $^2/_3$ der Länge die $^3/_2$fache Schwingungszahl, bei $^3/_4$ die $^4/_3$fache Schwingungszahl u. s. w. oder ganz allgemein: man findet, daß bei unveränderter Spannung einer Saite die Schwingungszahl ihre Länge umgekehrt proportional ist. Bei den Instrumenten mit wenig Saiten (Violine, Guitarre u. dgl.) bringt man mit einer Saite verschiedene Töne hervor, indem man bald längere, bald kürzere Theile der Saite auf das Griffbrett niederdrückt, so daß nur der übrige Theil der Saite schwingen kann.

Wer kein gutes musikalisches Gehör hat und die Höhe eines gehörten Tones nicht gut im Kopfe behält, wird gut thun, zu diesen Versuchen gleich zwei Saiten auf das Monochord zu spannen und beide gleich zu stimmen. Wenn man die Höhe der beiden Töne soweit gleich gemacht hat, daß ein ungeübtes Ohr keinen Unterschied mehr bemerkt, so zupft man beide Saiten (mit Daumen und Mittelfinger) zugleich, sind die Töne wirklich übereinstimmend, so müssen sie ganz allmählich und gleichmäßig verklingen; hört man ein schneller oder langsamer wechselndes Abnehmen und Anschwellen des Tones, sogenannte Schwebungen oder Stöße (näheres über dieselben siehe später), so ist ihre Höhe noch etwas verschieden, und zwar um so mehr, je schneller die Schwebungen erfolgen; man stimmt in diesem Falle eine Saite durch ganz gelindes, weiteres Anspannen versuchsweise höher, werden die Schwebungen dadurch langsamer, so fährt man damit fort, bis sie ganz verschwunden sind, werden sie hingegen schneller, so läßt man die Saite solange nach, bis die Schwebungen aufhören.

Fig. 215.



$^1/_{15}$ nat. Gr.

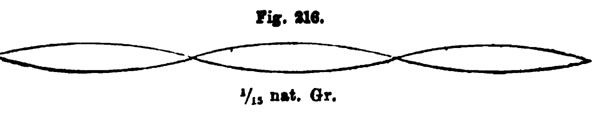
Man schiebt das Klötzchen dann nicht in seiner ganzen Länge unter das Monochord, sondern blos bis etwa zur Mitte, so daß es nur unter die eine Saite kommt, die andere aber ganz frei bleibt; man kann dann immer den Ton der unverkürzten Saite mit dem der verkürzten leicht vergleichen.

Berührt man die Saite in der Mitte ihrer Länge leise mit dem weichen Theile der Fingerspitze (oder schiebt unter dieselbe ein gleichseitig dreieckiges Klötzchen, auf dessen obere, scharfe Kante man die Mitte der Saite ganz leise aufdrückt) und zupft dann nahe an einem Ende der Saite, so erhält man auch die Octave des ursprünglichen Tones, die Saite schwingt dabei nicht nur auf der Hälfte, wo man sie gezupft hat, sondern auch auf der andern, Fig. 215. (Die seitliche Ausbiegung der Saite ist in den Figuren 215 bis 217 der Deutlichkeit wegen viel zu groß gezeichnet.) Die mit dem Finger berührte Stelle macht dabei keine merkliche Bewegung, sie bildet einen sogenannten Schwingungsknoten. Nimmt man unmittelbar, nachdem man den Ton erzeugt hat, den Finger von der Saite weg, so schwingt sie in der Weise fort, in der sie einmal angefangen hat, d. h. sie behält in der Mitte den Schwingungsknoten und fährt fort, die Octave des Grundtones zu geben.

Berührt man in ähnlicher Weise die Saite an einem Punkte, der um $\frac{1}{3}$ ihrer Länge von einem Ende entfernt ist (bei 40 oder 80cm), so erhält man denselben Ton, gleichviel ob man das eine Drittheil oder das andere, zwei Drittheile der ganzen Länge betragende Stück zupft. Nur darf man nicht in dem zweiten Drittheilspunkte selbst zupfen (also, wenn man bei 40cm berührt, nicht bei 80), sonst erhält man gar keinen Ton. Betrachtet man die auf solche Weise in Schwingungen versetzte Saite genau, so erkennt man, daß dieselbe jetzt zwei Schwingungsknoten hat und in einzelnen Drittheilen schwingt, Fig. 216. Der Ton hat die dreifache Schwingungszahl von der des Grundtons, also die $\frac{3}{2}$fache von der der Octave, er ist die Quinte von der Octave (d. h. die Duodecime des Grundtons).

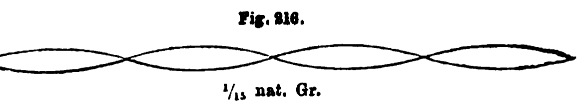
Berührt man in $\frac{1}{4}$ der Saitenlänge (bei 30 oder 90), so bilden sich 3 Schwingungsknoten, die Saite theilt sich in vier gleichzeitig schwingende Viertel, Fig. 217, und giebt einen Ton, dessen Schwingungszahl 4 mal so groß ist, als die des Grundtones, d. i. die zweite Octave desselben. Dabei zupft man wieder am besten ganz nahe an einem Ende der Saite, jedenfalls aber nicht in einem der nicht berührten Viertelspunkte.

Fig. 216.



$\frac{1}{15}$ nat. Gr.

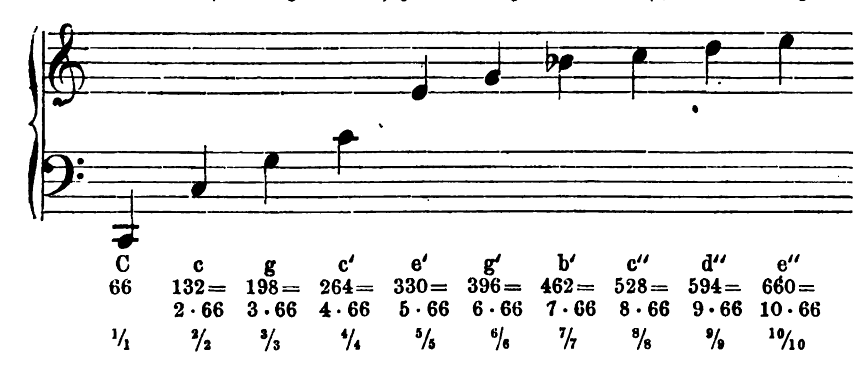
Fig. 216.



$\frac{1}{15}$ nat. Gr.

Auf ähnliche Weise kann man die Saite in Fünfteln, Sechsteln, Siebenteln, Achteln, ja wol bis zu Zwölfteln schwingen lassen; immer entspricht die Tonhöhe dem zuvor gefundenen Satze, daß die Schwingungszahl der Länge umgekehrt proportional ist, man erhält für Fünftel das Fünffache, für Sechstel das Sechsfache der ursprünglichen Schwingungszahl u. s. f.

Es folgt hier die Reihe der Töne, welche man durch die verschiedenen Unterabtheilungen der Saite erhält, wenn diese, was bei 120cm Länge, 1mm Dicke und einer Spannung von nahezu 15 Kilogr. der Fall ist, den Ton C giebt.



Die unterste Zahlenreihe deutet die Abtheilungen an, welche die Saite bildet. Die höhern Töne, welche ein Körper außer seinem Grundtone zu geben vermag, heißen Obertöne und zwar harmonische Obertöne, wenn, wie

bei den Saiten, ihre Schwingungszahlen ganze Vielfache von der des Grundtones sind.

Die Verschiedenheit zwischen den ruhenden Schwingungsknoten und den zwischen ihnen liegenden, schwingenden Theilen (Bäuchen) ist nur in nächster Nähe unmittelbar durch das Auge zu erkennen, weil die Schwingungsweite der Saite überhaupt nicht groß ist. Zur Sichtbarmachung auf größere Entfernung dienen die sogenannten Reiter, das sind Papierstreifchen von etwa 5^{mm} Breite und 15^{mm} Länge, die man in der Mitte umbricht, so daß die beiden Hälften einen mäßig spitzen Winkel bilden (Λ). Ein solcher Reiter, den man auf die Saite an die Stelle eines Schwingungsknotens setzt, bleibt ganz ruhig oder zittert nur wenig, wenn die Saite tönt, während er sofort abgeworfen wird, wenn er sich in der Mitte zwischen zwei Knoten befindet. Berührt man die Saite bei 30^{cm}, setzt Reiter auf bei 15, 45, 60, 75, 90 und 105^{cm} und zupft vorsichtig (etwa bei 10), so bleiben nur die Reiter bei 60 und 90^{cm} sitzen, alle übrigen werden abgeworfen; ähnliches geschieht, wenn man andere Unterabtheilungen hervorruft.

Das Zupfen muß mit ziemlicher Vorsicht geschehen, damit man nicht die Saite zu stark erschüttert und alle Reiter abwirft; bequemer ist es, die Saite durch Streichen mit einem gewöhnlichen Violinbogen zum Tönen zu bringen; die Reiter auf den Knotenpunkten bleiben dann selbst bei sehr kräftigem Strich ruhig sitzen; der Bogen wird, wie beim Gebrauch auf der Violine, mit etwas Colophonium bestrichen.

Man stimme beide Saiten möglichst genau gleich und zupfe oder streiche dann eine von beiden, so wird die zweite Saite von selbst mit in Schwingungen gerathen. In der Nähe kann man dies unmittelbar sehen, auf größere Entfernung kann man das Mitschwingen der zweiten Saite dadurch merklich machen, daß man sie mit Reitern besetzt, die beim Zupfen der ersten Saite abgeworfen werden, oder dadurch, daß man die erste Saite sehr bald, nachdem man sie in Schwingungen versetzt hat, wieder zur Ruhe bringt, indem man sie an mehreren Orten zugleich mit dem Finger berührt; man hört trotzdem den Ton fortklingen, der dann natürlich nur von der zweiten Saite herrühren kann. Man bezeichnet dieses Mittönen der nicht unmittelbar erregten Saite als **Resonanz**. Eine solche Resonanz findet immer statt, wenn ein Körper, der im Stande ist, selbstständige Schwingungen zu machen, getroffen wird von den Schallwellen eines Tones, welcher gleiche Höhe hat mit dem Tone, den der Körper selbst giebt. Bei dem Versuch mit dem Monochord wird hauptsächlich die Bewegung durch die starren Holztheile von der einen Saite auf die andere übertragen, aber auch die Luftwellen allein sind sehr wohl im Stande, die Resonanz hervorzurufen. Läßt man das Monochord von zwei Personen nahe über die Saiten eines geöffneten Pianofortes halten und schlägt auf diesem den Ton an, welchen die Saiten des Monochords geben, so schwingen diese mit, wie man an der zitternden Bewegung der Reiter erkennt. Wird auf einem Pianoforte ein Musikstück gespielt, so macht es sich oft recht unangenehm bemerklich, daß immer bei einem gewissen Tone irgendetwas im Zimmer klirrt, eine Fensterscheibe, eine Ofenthür, ein Messingleuchter oder irgendein anderer Körper; sucht man diesen auf und klopft daran, so überzeugt man sich, daß er selbst einen Ton von gleicher Höhe mit dem giebt, der ihn zum Klirren veranlaßt. Das Klirren selbst ist dadurch bedingt, daß der Körper an benachbarte Körper anschlägt, wenn er in Schwingungen geräth.

Auf den ersten Anblick muß es wunderbar erscheinen, daß die verhältnißmäßig schwachen Luftwellen, welche das feinste Gefühl nicht wahrzunehmen vermag, einen starren, schweren Körper in merkliche Bewegung versetzen können. Es wird aber auch nicht jeder beliebige Körper durch Schall-

wellen in Schwingungen versetzt, sondern immer nur ein solcher, dessen Schwingungen genau von gleicher Dauer mit denen des erklingenden Tones sind. Ein einzelner Luftstoß, eine einzelne Luftwelle würde einen starren Körper, der überhaupt zu schwingen fähig ist, in Schwingungen versetzen, aber in außerordentlich schwache, die durchaus nicht wahrzunehmen sind. Immerhin aber würde der Körper nicht nur eine einzige, sondern wegen des Beharrungsvermögens einige Schwingungen machen, ehe er zur Ruhe kommt. Wenn nun die zweite Luftwelle genau in dem Augenblick den Körper trifft, in dem er von selbst die zweite Schwingung beginnt, so ertheilt sie ihm einen zweiten Anstoß, infolge dessen die zweite Schwingung schon kräftiger wird, als die erste. Kommen Luftwellen in größerer Anzahl hintereinander, aber immer genau in der Zeit an, wo sie die schon vorhandene Bewegung des Körpers verstärken, so wird diese schließlich stark genug, um deutlich wahrnehmbar zu sein.

An einem Beispiel in großem Maßstabe können wir leicht sehen, wie schwache, in passenden Zeiträumen aufeinanderfolgende Anstöße eine kräftige Bewegung einer großen Masse bewirken. Die Schwungbalken, die man beim Turnen verwendet, liegen an einem Ende und nahe an ihrer Mitte auf, das dünne Ende schwebt frei. Führt man auf dieses Ende einen kräftigen Faustschlag oder mehrere solche Schläge in unregelmäßigen Pausen, so kommt der Balken nur in sehr unbedeutende Schwingungen. Uebt man aber mit der Hand einen schwachen, vorübergehenden Druck aus, der nur eben ausreicht, eine merkliche Bewegung des Balkens hervorzubringen, wiederholt diesen Druck aber jedesmal wenn der Balken wieder abwärts schwingt, so geräth dieser trotz seiner beträchtlichen Dicke in kurzer Zeit in weite, kräftige Schwingungen.

Bringt man die eine Saite des Monochords durch Zupfen oder Streichen während der Berührung in einem bestimmten Theilpunkte dazu, in Unterabtheilungen zu schwingen, so bilden sich auf der zweiten Saite, wenn diese gleichgestimmt ist, die nämlichen Abtheilungen. Berührt man z. B. die eine Saite bei 30 oder 90^{cm} und zupft bei 15 oder 105, nachdem man die andere bei 15, 30, 45, 60, 75, 90 und 105^{cm} mit Reitern versehen hat, so bleiben die Reiter bei 30, 60, und 90^{cm} ruhig, die übrigen kommen in Bewegung.

Nun verfahre man umgekehrt, man berühre die mit Reitern besetzte zweite Saite in irgend einem Theilpunkte und lasse die erste Saite ihrer ganzen Länge nach frei schwingen, so wird man im Allgemeinen bemerken, daß die abgetheilte Saite auch zu schwingen anfängt.

Es vermag also die eine schwingende Saite die andere nicht nur dann in Mitschwingung zu versetzen, wenn diese zweite Saite die gleiche, sondern auch wenn sie die doppelte, dreifache, vierfache u. s. w. Schwingungszahl hat, mit andern Worten, wenn sie einen der harmonischen Obertöne von dem Grundton der gezupften oder gestrichenen Saite giebt. Nach der oben gegebenen Erläuterung über das Zustandekommen der Resonanz kann ein Körper nur dann mitschwingen, wenn er von Schallwellen getroffen wird, deren Schwingungsdauer genau gleich seiner eigenen ist; wenn wir nun sehen, daß der Klang unserer Saite nicht nur eine gleichtönende Saite zur Resonanz bringen kann, sondern auch solche, welche die harmonischen Obertöne geben, so müssen wir daraus schließen, daß in dem Klange der gezupften oder gestrichenen Saite außer dem Grundton diese Obertöne wirklich vorhanden sind. Dies bestätigt sich denn auch bei weiterer Untersuchung vollkommen; während die

Saite als Ganzes schwingt, schwingt sie zugleich auch in Hälften, Dritteln, Vierteln u. s. f., sie macht also in der That eine sehr verwickelte Art von Bewegung. Bei einiger Uebung und Aufmerksamkeit gelingt es, die neben dem Grundton einer Saite erklingenden Obertöne wirklich zu hören, sie treten deutlicher hervor, wenn der Grundton anfängt zu verklingen; man hört zuerst die Octave, dann die Duodecime und manchmal noch mehrere von diesen Tönen; verschiedene Personen sind sehr verschieden zu diesen Wahrnehmungen befähigt, keineswegs ist gerade ein besonders gutes, musikalisches Gehör dazu erforderlich.

Hört man die Obertöne der Monochardsaite nicht unmittelbar, so helfe man sich auf die Weise, daß man die Saite zupft oder streicht und sie dann in einem Knotenpunkte mit dem Finger berührt. Der Grundton, welcher durch die Schwingung der ganzen Saite entsteht, wird durch jede Berührung der Saite sofort zum Schwingen gebracht, die Obertöne aber, welche an der berührten Stelle einen Knotenpunkt haben, tönen fort und sind nach dem Aufhören des Grundtones ohne alle Schwierigkeit zu bemerken. Berührt man die schwingende Saite in der Mitte, so bleibt die Octave (und mit ihr zugleich die Obertöne, welche 4, 6, 8 u. s. w. mal soviel Schwingungen machen als der Grundton), berührt man bei 40 oder 80^{cm}, so bleibt die Duodecime, berührt man bei 30 oder 90^{cm}, die zweite Octave, berührt man bei 24^{cm}, die Terz über der zweiten Octave u. s. f. Daß diese Obertöne nicht etwa erst bei der Berührung der Saite entstehen, sondern daß sie schon vorher vorhanden sein müssen, zeigt sich, wenn man die Saite an einem Knotenpunkt zupft und sie dann an derselben Stelle berührt. Zupft man in der Mitte der Saite, so ertönt der Grundton sehr kräftig, die Octave aber ist nicht dabei, weil die Stelle der Saite, wo die Octave einen Knoten haben müßte, gerade die am stärksten bewegte ist; bei der Berührung der Saite in der Mitte verstummt sie denn auch jetzt vollständig, es bleibt nichts von dem Klange derselben übrig.

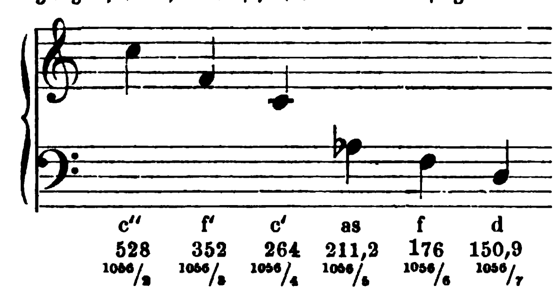
Hat man ein Pianoforte, mit dem man die Versuche anstellen kann, so lassen sich die Obertöne sehr leicht wahrnehmen, entweder so, daß man die zu einem Tone gehörigen Obertöne aufsucht, oder noch bequemer so, daß man für einen Ton untersucht, von welchen anderen Tönen er ein Oberton ist.

1. Man schlägt wiederholt hintereinander eine von den tieferen Tasten des Pianofortes (oder Pianinos) an, nachdem man zuvor eine andere Taste leise niedergedrückt hat, um die Saite, zu welcher sie gehört, von dem Dämpfer zu befreien, welcher im Ruhezustand darauf liegt und sie am Mitschwingen hindert. Entspricht die frei gemachte Saite einem Oberton der angeschlagenen Saite, so kommt sie in Mitschwingung und tönt, wenn man ihre Taste dauernd niederhält, noch fort, nachdem man die angeschlagene Taste losgelassen und dadurch ihre Saite zum Schweigen gebracht hat. Nimmt man als angeschlagenen Ton immer C und drückt von Cis aufsteigend Taste für Taste nieder, so findet man leicht als die Obertöne von C die auf Seite 231 angegebenen.

2. Da die harmonischen Obertöne diejenigen sind, welche 2, 3, 4, 5 u. s. w. mal so viel Schwingungen machen als der Grundton, so wird irgend ein Ton als harmonischer Oberton zu denjenigen Tönen gehören, welche $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$ u. s. w. mal soviel Schwingungen machen als er selbst; so ist beispielsweise der Ton c'''



mit 1056 Schwingungen, ein harmonischer Oberton von folgenden Tönen:



(Der zuletzt aufgeführte Ton ist nicht ganz genau d, sondern er ist eine Spur höher, d hat genauer nur 148,5 Schwingungen). Hält man nun die Taste c''' dauernd nieder und schlägt von h'' abwärts gehend Taste für Taste an, indem man immer zwischen je zwei Tönen eine Pause macht, so hört man jedesmal die Saite c''' fortklingen, wenn man einen der oben aufgeführten Töne angeschlagen hat. Setzt man auf die Saite von c''' (oder richtiger auf eine von den 2 oder 3 Saiten, die in der Regel zu einem der höheren Töne des Pianoforte gehören) einen kleinen Papierreiter, so sieht man ihn zittern und hört ihn klirren, wenn einer der obigen Töne angeschlagen wird. Schlägt man von den obigen Tönen, welche alle den Oberton c''' haben, mehrere zugleich an, z. B. den F-Moll Dreiklang f, as, c', f',, so hört man den Ton c''' fast so stark, als ob er selbst angeschlagen worden wäre, auch wenn die Taste c''' gar nicht niedergedrückt ist.

Es ist wol selbstverständlich, daß das, was hier für die Töne C als Grundton und c''' als Oberton gesagt ist, sich in ähnlicher Weise für jeden beliebigen anderen Ton ausführen läßt, man braucht nur die übrigen, zugehörigen Töne zu berechnen oder auch blos abzuzählen, wieviel Tasten der gewählte Ton über oder unter C oder c''' liegt, um ebensoviel Tasten auf- oder abwärts liegen dann natürlich auch die andern zugehörigen Töne.

So wie schwingende Saiten, so geben auch die meisten andern schwingenden Körper neben ihrem Grundtone gleichzeitig mehrere Obertöne, die Summe der von einem Körper hervorgebrachten Töne bezeichnet man wol als **Klang** im Gegensatz zu einem *einfachen Ton*.

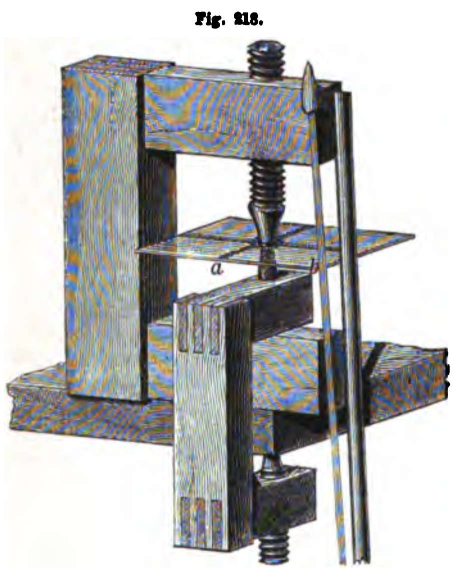
Außer durch ihre Höhe und ihre Stärke unterscheiden sich die auf verschiedene Weise erzeugten Töne noch durch das, was man ihre *Klangfarbe* nennt. Dieselbe Note auf einem Pianoforte oder einer Orgel angeschlagen, auf einer Violine gestrichen, auf einer Flöte geblasen oder von der menschlichen Stimme gesungen, klingt ganz verschieden. Dies liegt zum Theil an schwachen, begleitenden Nebengeräuschen (bei der Flöte hört man ein leises Sausen des mit dem Munde geblasenen Luftstroms) zum Theil daran, daß der Klang entweder schnell an Stärke abnimmt (Pianoforte) oder gleichmäßig andauert, ganz besonders aber ist die Klangfarbe bedingt durch das Vorhandensein der Obertöne. Diese sind nämlich keineswegs gleich bei den verschiedenen tönenden Körpern, ja sie können sogar bei einem und demselben Körper verschieden sein, wenn man ihn auf verschiedene Weise zum Tönen bringt.

Wir haben schon erwähnt, daß im Klange einer in der Mitte gezupften Saite die Obertöne fehlen, deren Schwingungszahlen gerade Vielfache von der des Grundtones sind, die also an jener Stelle einen Schwingungsknoten haben; ihre Abwesenheit macht sich auch dann noch leicht bemerklich, wenn man nicht auf die einzelnen Obertöne achtet, sondern nur den Klang der Saite als Ganzes auffaßt; er ist weich, dumpf und näselnd beim Zupfen in

der Mitte, hell und voll, wenn man mehr nach einem Ende zupft; zupft oder streicht man sehr dicht am Ende einer Saite, so wird der Klang klimpernd oder quietschend.

35. Schwingungen von Platten, Glocken, Stäben, Luftsäulen; Töne der Zungenpfeifen. Starre Körper von beträchtlicher Breite bei verhältnißmäßig geringer Dicke können mannichfaltig verschiedene Schwingungen machen, wenn sie auf verschiedene Weise zum Tönen gebracht werden. So wie bei den Saiten gewisse Punkte, die Knotenpunkte, in Ruhe bleiben können, so bleiben bei schwingenden Platten ganze Linien, Knotenlinien, in Ruhe, während die zwischen ihnen liegenden Theile schwingen. Sehr schön sichtbar machen lassen sich diese Knotenlinien durch die sogenannten Chladni'schen Klangfiguren.

Fig. 218.



a. P. 1/4 nat. Gr.

Streut man nämlich auf eine wagrechte, tönende Glas- oder Metallplatte ein wenig trockenen Streusand, so wird dieser von den schwingenden Theilen fortwährend in die Höhe geworfen und hüpft hin und her, bis er auf eine Knotenlinie zu liegen kommt; er sammelt sich also auf diesen Linien und macht diese dadurch sichtbar.

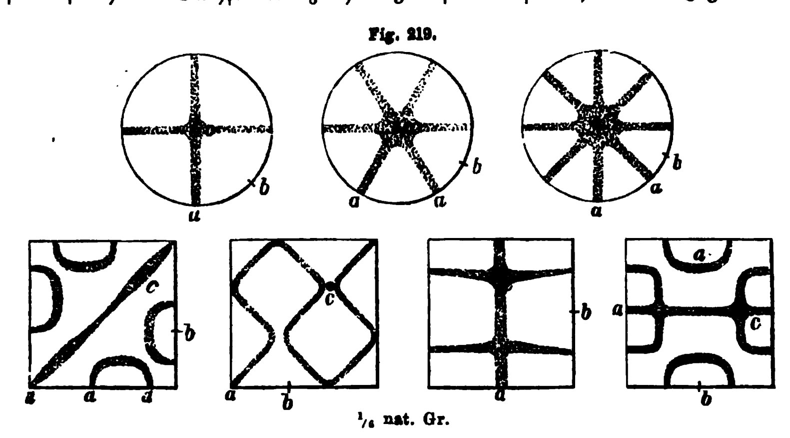
Zu diesen Versuchen braucht man eine quadratische und eine kreisförmige Tafel von 12^{cm} Durchmesser, aus dünnem, möglichst ebenem und gleichmäßigem Fensterglase und einen Violinbogen. Die viereckige läßt man jedenfalls beim Glaser schneiden, die runde sprengt man nöthigenfalls mit Sprengkohle zurecht, beide aber müssen auf einem Schleifsteine am Rande abgeschliffen werden, damit dieser von aller Schärfe befreit und etwas abgerundet wird, weil er sonst die Haare des Bogens, mit dem er gestrichen wird, zerkratzt. In der aus Fig. 218 ersichtlichen Weise klemmt man zunächst eine größere Schraubzwinge mittelst einer kleineren am Tische fest, stellt dann unter die von oben herunterragende Schraube einen 15 bis 20^{mm} hohen, nach oben etwas verjüngten, oben 8^{mm} breiten Kork, bringt auf diesen die Glasscheibe, legt auf diese ein rundes, ebenfalls 8^{mm} großes, 2 bis 3^{mm} dickes Korkscheibchen und preßt dann mit der Schraube das Ganze mäßig fest zusammen.

Berührt man die in der Mitte eingespannte, quadratische Scheibe bei a (Fig. 218) mit dem Finger, legt den gutgeharzten Bogen bei b an die Glastafel und führt ihn in fast senkrechter Richtung abwärts, so bildet der Sand die in der Abbildung angedeutete Figur, ein rechtwinkeliges Kreuz mit vier, den Seiten der Platte parallelen Armen, dabei giebt die Platte den tiefsten Ton, dessen sie fähig ist. Die zwischen die Korke geklemmte und die mit dem Finger berührte Stelle können natürlich keine Schwingungen machen, sie müssen also immer in Knotenlinien liegen; indem man andere Stellen einspannt und mit dem Finger oder mit zwei Fingern berührt, kann man die verschiedenartigsten Klangfiguren hervorbringen; Fig. 219 zeigt einige solche

Figuren, bei denen a immer die berührten, b die gestrichenen, c die eingeklemmten Stellen sind; mit einiger Geduld findet man leicht noch eine große Zahl anderer Figuren, die sich mit der quadratischen Platte erzeugen lassen.

Auf einer kreisförmigen Platte erhält man besonders leicht Figuren, die aus 2, 3, 4 oder mehr Durchmessern bestehen, wie sie in Fig. 220 dargestellt sind; die Buchstabenbezeichnungen sind dieselben, wie in Fig. 219.

Fig. 219.

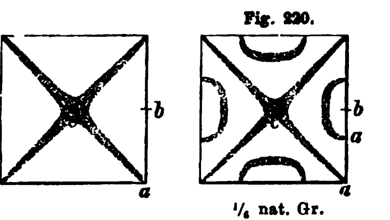


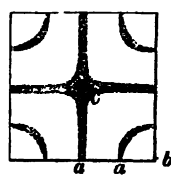
$^1/_4$ nat. Gr.

Nicht immer will es gleich beim ersten Strich gelingen, die Klangfiguren zu erhalten, man überzeuge sich dann zunächst, ob man richtig in der Mitte oder sonst an einem richtigen Punkte eingespannt hat und versuche mit etwas verschiedener Neigung des Bogens und mit verschiedenem starkem Druck desselben zum Ziele zu gelangen.

Das Aufstreuen des Sandes erfolgt am bequemsten mit einer gewöhnlichen Streusandbüchse; man darf nicht zu viel aufbringen, weil er sonst durch sein Gewicht die Schwingungen der Platte hemmt. Nimmt man den bekannten blauen Streusand (zerstoßenes Kobaltglas), löst nach dem Zustandebringen der Figur die Glasplatte, ohne sie zu erschüttern, aus der Schraubenzwinge, legt sie auf den Tisch und bedeckt sie mit einem Stück Schreibpapier, das man mit einer mäßig dünnen Auflösung von arabischem Gummi bestrichen hat, so bleibt der dunkel gefärbte Sand beim Wiederaufheben des Papiers an diesem hängen und klebt beim Trocknen der Gummilösung fest, die Figuren werden auf diese Weise gut sichtbar und lassen sich aufheben.

Fig. 220.



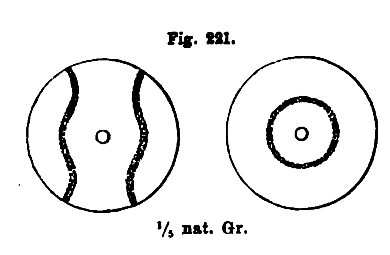


$^1/_4$ nat. Gr.

Auf kreisförmigen Platten lassen sich noch andere Klangfiguren erhalten, als die, welche aus Durchmessern bestehen, nämlich dadurch, daß man die Platten nicht von dem Rande, sondern von der Mitte aus in Bewegung versetzt. Zu diesem Zweck kittet man auf die Mitte der Glasscheibe ein Siegellackstückchen von etwa 1^{cc} und in dieses ein 30 bis 80^{cm} langes, 5 bis 10^{mm} dickes Glasrohr, so daß es gegen die Glasplatte senkrecht steht. Diese Vorrichtung kann man zum Tönen bringen, wenn man sie mit den nassen Fingern der rechten Hand reibt, während man sie zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand an einem Punkte hält, der von der Mitte des Glasrohres etwas nach der Glasscheibe zu liegt; man findet durch weniges Pro-

biren leicht die Stelle, wo man das Glasrohr fassen muß, um am leichtesten einen Ton zu erzeugen. Zwischen die drei ersten Finger der Rechten, die man von Zeit zu Zeit in Wasser taucht, faßt man das Glasrohr lose in der Weise, wie man eine Schreibfeder zu fassen pflegt und fährt dann von unten nach oben an dem senkrecht gehaltenen Glasrohre hinauf uud zwar von der Mitte nach dem freien Ende, wenn man die Glasplatte nach unten, von dem freien Ende nach der Mitte, wenn man die Glasscheibe nach oben hält. Die Haltung der Platte nach oben hat den Vortheil, daß kein Wasser auf die Platte tropfen kann, die umgekehrte Stellung ist aber bequemer. Nachdem man die richtige Art gefunden hat, wie man die Vorrichtung ins Tönen bringt, trocknet man die Scheibe ab, falls sie naß geworden sein sollte, bestreut sie mit Sand und ruft nochmals den Ton hervor. Die Figuren, welche man so erhält, ändern sich mit den Verhältniß der Größe und Dicke der beiden Glastheile, mit einer bestimmten Verbindung von Scheibe und Rohr erhält man nur eine Figur; zwei Figuren, die auf solche Weise mit einer Scheibe von 10^{cm} Durchmesser und Röhren von 55 und 25^{cm} Länge erhalten werden, zeigt Fig. 221.

Fig. 221.

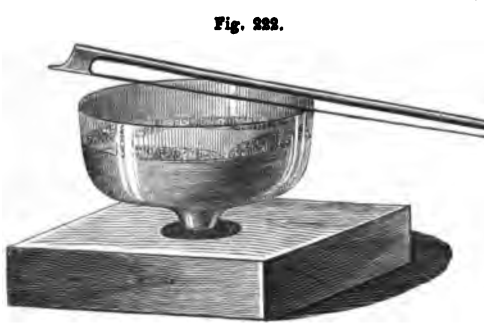


1/5 nat. Gr.

Glocken können wir als gewölbte, runde Platten bezeichnen, sie verhalten sich ganz ähnlich wie diese und theilen sich am leichtesten durch zwei rechtwinkelig auf einander stehende Linien in vier schwingende Theile.

Eine mit einem Fuße versehene Glasglocke (allenfalls ein gewöhnliches Kelchglas) läßt sich dadurch in anhaltende Schwingungen versetzen, daß man sie an einer Stelle des Randes quer herüber mit einem Fiedelbogen streicht (siehe Fig. 222), oder auch dadurch, daß man mit der befeuchteten Fingerspitze unter mäßigem Druck auf dem Rande im Kreise herumfährt. Dabei erhält man immer vier schwingende Abtheilungen; will man deren sechs oder acht haben, so muß man zwei um ein Sechstel oder ein Achtel des Umfangs von einander entfernte Punkte mit den Fingern berühren und eine ein Zwölftel oder ein Sechzehntel von dem einen Punkte entfernte Stelle mit dem Bogen streichen. Um die Abtheilungen der Glocke sichtbar zu machen, füllt man diese zwei Drittel voll Wasser oder Weingeist (bei Weingeistfüllnng benetzt man auch den Finger mit Weingeist oder umwickelt den Stab des Bogens, wenn man diesen anwendet, mit Papier, weil er voll Weingeist gespritzt wird und dieser den Lack verdirbt).

Fig. 222.



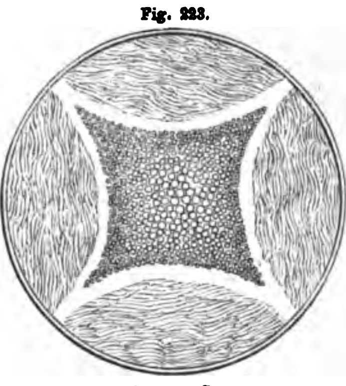
1/5 nat. Gr.

Die schwingenden Glockenwände versetzen die Oberfläche der Flüssigkeit in feine, gekräuselte Wellen (Fig. 222), diese Kräuselungen bilden vier bogenförmige Stücken, die Grenzen dieser Bogen entsprechen den Knotenlinien der Platte, die Mitte eines solchen Bogens befindet sich immer gerade unter dem Bogen oder dem Finger; beim Streichen mit dem Bogen steht die Figur still, beim Reiben mit dem Finger dreht sie sich um sich selbst in dem Maaße, wie der Finger fortschreitet. Streicht oder reibt man etwas stark, so werden die feinen Wellen so lebhaft, daß sich von ihren Spitzen Tröpfchen losreißen und einen Sprühregen über der Flüssigkeit bilden; bei Anwendung von Weingeist bleiben die zurückfallenden Tröpfchen einen Augenblick auf der Oberfläche der von Wellen nicht bewegten Flüssigkeit liegen, ehe sie wieder einsinken, und

geben dabei ein sehr zierliches Bild, Fig. 223. Als Glocke dient eine gewöhnliche Käseglocke, deren Griff man mit Gyps in ein passend gebohrtes Loch eines dicken Brettchens eingießt.

Stabförmige Körper können sehr verschiedenartige Töne geben, je nach der verschiedenen Art, sie zu befestigen und sie in Schwingungen zu versetzen. Den tiefsten Ton eines Stabes (eines Stahlstabes, eines eisernen Lineales oder einer Glasröhre) erhält man, wenn man ihn an einem $^1/_5$ bis $^1/_4$ seiner Länge von einem Ende entfernten Punkte faßt und ihn dann an einem Ende oder in der Mitte mit dem Fingerknöchel schlägt; der Stab schwingt dann in der aus Fig. 224 ersichtlichen Weise, indem er sich durch zwei Knoten in 3 schwingende Theile theilt.

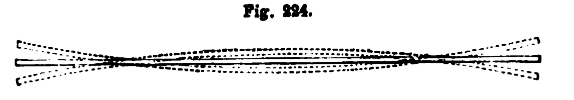
Fig. 223.



$^1/_2$ nat. Gr.

Eine Stimmgabel ist ein gebogener Stab; bei dem die beiden Knoten sehr nahe zusammenliegen, ihre Schwingungsweise ist in Fig. 225 angegeben. Man sieht daraus, daß der Stiel nicht an einem Knoten angesetzt ist, sondern zwischen beiden, er wird von dem schwingenden, mittelsten Theile der Gabel kräftig auf- und abbewegt und erzeugt einen lauten Ton, wenn man ihn auf einen Resonanzboden drückt, den er dann in Mitschwingung versetzt. (Die Ausbiegungen sind in Fig. 224 und und 225 der Deutlichkeit wegen zu groß gezeichnet).

Fig. 224.



An und für sich geben schwingende Stäbe wegen ihrer kleinen Oberfläche sehr schwache Töne, wenn sie nicht sehr breit, sind wie bei der Glasharmonika, die aus Glasstreifen besteht, welche an der Stelle ihrer Schwingungsknoten auf Fäden aufgeleimt sind; will man den Ton eines Glasrohres oder Stahlstabes deutlich hören, so bindet man ihn nahe an einem Ende an einen Bindfaden von 30 bis 50^{cm} Länge, dessen anderes Ende man über die Spitze des Zeigefingers legt und mit diesem in das Ohr drückt und läßt ihn frei hängend tönen.

Fig. 225.

$^1/_2$ nat. Gr.

Außer den eben betrachteten Querschwingungen können Stäbe auch Längsschwingungen machen, bei denen die einzelnen Theile in der Längsrichtung des Stabes hin- und herschwingen, diese Längsschwingungen erhält man, wenn man einen Stab in der Mitte faßt und die eine Hälfte der Länge nach reibt, bei Glas mit feuchtem Finger oder einem feuchten Tuche, bei Stahl mit den Fingern, zwischen denen man etwas Kolophonium zerdrückt hat.

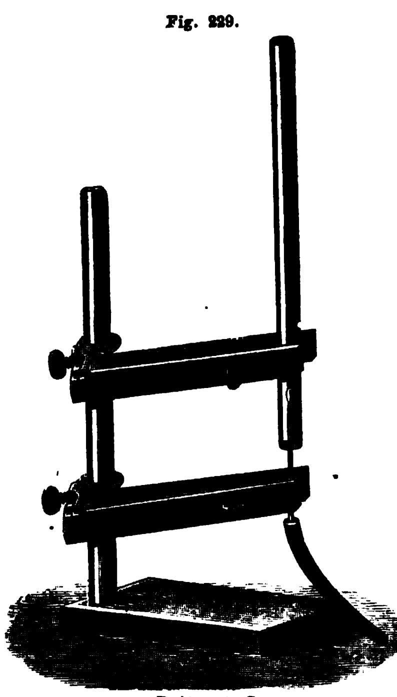
Die Töne, welche durch Längsschwingungen entstehen, sind um so höher, je kürzer die Stäbe sind, von der Dicke derselben sind sie unabhängig; die durch Querschwingungen erzeugten Töne sind um so höher, je kürzere und je dickere Stäbe man anwendet, im Allgemeinen sind sie viel tiefer, als die Längsschwingungstöne.

Die Obertöne der Platten, Glocken und Stäbe sind keine harmonischen, d. h. ihre Schwingungszahlen stehen nicht in so einfachem Verhältniß zu denen der Grundtöne, wie bei den Saiten; die Obertöne geben mit den Grundtönen zusammen keinen Wohlklang, die Körper

tung der Verbrennung nöthige Luftwechsel — Zug — nicht ordentlich zu Stande kommen kann).

Die chemische Harmonika — so hat man die Vorrichtung genannt, welche zu dieser Art der Tonerzeugung dient — besteht aus einer Röhre von Glas oder auch von Blech, die man am besten in einen Retortenhalter spannt und aus einem kleinen Gasbrenner, welcher ein Stück in diese Röhre hineinragt. Der Brenner ist ein gerades Röhrchen, das sich nach oben verengert und da eine Oeffnung von 0,5 bis 1^{mm} hat, gewöhnlich ein ausgezogenes Glasröhrchen, durch einen Kautschukschlauch mit der Leuchtgasleitung oder dem Wasserstoffapparat verbunden und in einem zweiten auf den Stab des Retortenhalters geklemmten Arm befestigt. Das tönende Rohr kann 15 bis 30^{mm} weit, 20 bis 100^{cm} lang sein; die Größe der Flamme und die Höhenstellung derselben in der Röhre muß man durch Probiren ermitteln, ohngefähr ist beides aus Fig. 229 zu ersehen; bei Leuchtgas muß man die Flammengröße sorgfältiger ausprobiren, als bei Wasserstoffgas, doch ist auch für dieses ein Hahn zum Reguliren erwünscht und deshalb der Apparat Fig. 156 dem Fig. 154 vorzuziehen.

Fig. 229.



a. P. 1/6 nat. Gr.

Ehe man das Wasserstoffgas entzünden darf, muß man prüfen, ob dasselbe rein ist, d. h. ob es keine Luft mehr beigemengt enthält, weil das lufthaltige Gas unter heftiger Verpuffung verbrennt, die den ganzen Apparat zertrümmern kann. Man läßt deshalb, wenn der Apparat frisch gefüllt ist, eine hinreichende Menge Gas entweichen, steckt dann an den Schlauch, welcher zur Verbindung mit dem Brennerröhrchen der chemischen Harmonika dienen soll, ein Glasrohr von etwa 10^{cm} Länge und fängt das aus diesem entweichende Gas in einem mit Wasser gefülltem Probirglas auf, wie S. 205 beschrieben ist. Das mit Gas gefüllte Glas verschließt man mit dem Daumen, hebt es aus dem Wasser, nimmt den Daumen weg und nähert sofort ein brennendes Hölzchen. Beim Oeffnen des Glases bildet sich an der Mündung fast immer eine kleine Menge eines Gemisches von Luft und Wasserstoffgas, deshalb entsteht beim Entzünden ein schwaches Geräusch, der weitaus größte Theil des Gases aber muß langsam und ganz ruhig mit kaum sichtbarer, blauer Flamme verbrennen; lufthaltiges Gas verbrennt mit einem kurzen, pfeifenden, bellenden oder knallenden Ton.

Nie entzünde man das aus dem Apparat strömende Gas, ohne diese Probe gemacht zu haben, auch dann nicht, wenn der Apparat längere Zeit mit Gas gefüllt gewesen und früher schon einmal geprüft worden ist.

Ist das Wasserstoffgas luftfrei, so schiebt man den Schlauch an das Brennerröhrchen, entzündet das Gas und stülpt dann das Glasrohr über die Flamme; sobald die Größe und Stellung derselben richtig ist, giebt das Rohr einen starken Ton.

Entzündet man das Leuchtgas in einem Argandbrenner, nachdem der Haupthahn der Gasleitung eine Zeit lang geschlossen gewesen und eben erst wieder geöffnet worden ist, so erhält man häufig auf einige Zeit anstatt einer großen, leuchtenden Flamme, einen Kranz von ganz kleinen, blauen Flämmchen, nämlich dann, wenn das Gas sich durch Diffusion an nicht ganz vollkommen dichten Stellen der Leitung mit Luft ge-

mischt hat; diese kleinen, blauen Flämmchen bringen manchmal die Luft des kurzen, weiten Glascylinders, der sich an dem Argandbrenner befindet, in äußerst lebhafte Schwingungen, die einen hohen, laut schreienden Ton erzeugen.

Wenn die Luft in der Röhre Schwingungen macht, so nimmt, wie wir betrachtet haben, ihre Dichtigkeit sehr schnell wechselnd ab und zu, mit der Dichtigkeit zugleich natürlich auch der Druck. Infolge dieser Druckschwankungen strömt das Gas aus dem Brennerrohr nicht gleichmäßig aus, sondern in vielen, schnell aufeinanderfolgenden Stößen; anstatt einer ruhig fortbrennenden Flamme haben wir eine Reihe einzelner Verbrennungen, deren jede eine Erwärmung und dadurch eine Ausdehnung der Luft verursacht und somit einen neuen Anstoß zur Fortdauer der Bewegung giebt. Die sehr schnell hintereinander eintretenden Verbrennungen bringen für das Auge allerdings die Erscheinung einer dauernden Flamme hervor, weil die zweite schon sichtbar ist, ehe der Eindruck der ersten im Auge aufgehört hat; daß wir aber in Wirklichkeit eine Reihe von Flammenstößen vor uns haben, werden wir später noch nachweisen. Durch die intermittirende (d. h. abwechselnd unterbrochene und wiedereintretende) Ausdehnung der Luft infolge der intermittirenden Verbrennung erklärt sich allerdings die Fortdauer der Schwingungen, nachdem diese einmal eingetreten sind, für die erste Entstehung derselben muß aber noch ein anderer Grund da sein; vielleicht hat daran der durch die Flamme bewirkte Zug einen gewissen Antheil.

Hat man für eine chemische Harmonika die günstigste Größe und Stellung gefunden, nimmt dann die Röhre von der Flamme ab, daß der Ton unterbrochen wird, und stellt den Apparat von neuem zusammen, aber so, daß sie nur annähernd, nicht genau wieder an die richtige Stelle kommt, so vergeht oft lange Zeit, ohne daß die Röhre wieder tönt; singt oder pfeift man dann in der Nähe der Röhre kräftig die Tonleiter, so beginnt die Röhre zu tönen, sobald man den Ton angegeben hat, den sie selbst zu erzeugen vermag, weil die zunächst durch Mitschwingung erregte Luft der Röhre den intermittirenden Gasausfluß hervorruft; umgekehrt kann man die tönende Röhre, deren Flamme nicht ganz die günstigste Stelle einnimmt, zum Verstummen bringen, wenn man recht kräftig einen Ton angiebt, der etwas höher oder tiefer ist (einen halben oder ganzen Ton), als der Ton der Röhre; es wird durch die Wirkung der Schallwellen, welche von außen in etwas rascherer oder langsamerer Aufeinanderfolge kommen, als die in der Röhre entstehen, die Regelmäßigkeit in den Unterbrechungen des Gasstromes gestört und dadurch die Tonbildung aufgehoben.

Fig. 230.



a. P. ⅔ nat. Gr.

Die gewöhnlichste und in der Musik vorzugsweise gebrauchte Art, Luftsäulen in Röhren in Schwingungen zu versetzen, ist die, daß man einen Luftstrom über eine Oeffnung der Röhre hin bläßt. Mit Hülfe eines Kautschukschlauches, dessen Ende man zwischen den Fingern etwas zusammendrückt, um eine schmale, längliche Ausflußöffnung zu erhalten, lassen sich ein- und zweiseitig offene Röhren und die verschiedenartigsten anderen Hohlräume (Flaschen u. s. w.) anblasen.

Fig. 230 zeigt (mit Weglassung der Finger, welche den Schlauch halten) die gegenseitige Lage von Schlauch und Rohr; das dauernde Flachdrücken des Schlauches kann man sich ersparen, wenn man den Schlauch zuerst mit dünnem, ausgeglühten Draht umwickelt und dann in die gewünschte Form bringt, welche durch den Draht erhalten wird.

Die Flöte ist ein zweiseitig offenes Rohr, dessen eine Oeffnung aber nicht ganz am Ende, sondern seitlich angebracht ist; ein Luftstrom wird unmittelbar mit dem Munde über diese Oeffnung hinweggeblasen. Die sogenannten Flötenpfeifen der Orgel, welche aus Holz oder Zinn bestehen und die gewöhnlichen Pfeifen (Signalpfeifen u. dergl.) sind Röhren, welche ebenfalls an einem Ende eine seitliche Oeffnung haben, am anderen Ende entweder geradeaus offen oder geschlossen sind; ein bandförmiger Luftstrom wird durch einen schmalen Spalt auf den gegenüberliegenden, scharfkantigen Rand der einen Oeffnung (des Mundlochs) geblasen. Die von der bekannten Einrichtung gewöhnlicher Pfeifen nicht sehr verschiedene Einrichtung einer hölzernen Orgelpfeife zeigt Fig. 231, welche eine Hälfte einer durchschnitten gedachten solchen Pfeife giebt; der Querschnitt dieser Pfeifen ist viereckig, während metallne Orgelpfeifen rund und nur an der Mundöffnung flach sind.

Fig. 231.

a. P. $^1/_2$ nat. Gr.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Längsschwingungen der Luftsäulen in Röhren erfolgen und somit die Höhe der von ihnen erzeugten Töne hängt, wie bei den Längsschwingungen der Stäbe, hauptsächlich von der Länge der schwingenden Masse ab; die Schwingungszahl ist der Länge umgekehrt proportional. Wenn vier Pfeifen die Töne eines Dur-Dreiklangs geben sollen, deren Schwingszahlen sich verhalten wie $1 : {}^5/_4 : {}^3/_2 : 2$, so müssen ihre Längen sich verhalten wie $1 : {}^4/_5 : {}^2/_3 : {}^1/_2$; sie können z. B. 30, 24, 20 und 15^{cm} betragen. Oben haben wir gesehn, daß ein an einem Ende geschlossenes Rohr denselben Ton giebt, wie ein doppelt so langes, beiderseits offenes, seine Schwingungszahl ist also halb so groß, als die eines gleich langen, beiderseits offenen; mit anderen Worten giebt ein einseitig verschlossenes Rohr die tiefere Octave von dem Tone eines gleich langen, zweiseitig offenen Rohres.

Will man sich zu diesen Versuchen nicht eigens Pfeifen anschaffen, so kann man sich mit Röhren aus starkem Papier oder ganz dünner Pappe begnügen, die zwar keine musikalischen Töne geben, aber doch die Tonhöhe genügend deutlich erkennen lassen, um das angeführte Gesetz über die Beziehung zwischen Röhrenlänge und Schwingungszahl zu bestätigen.

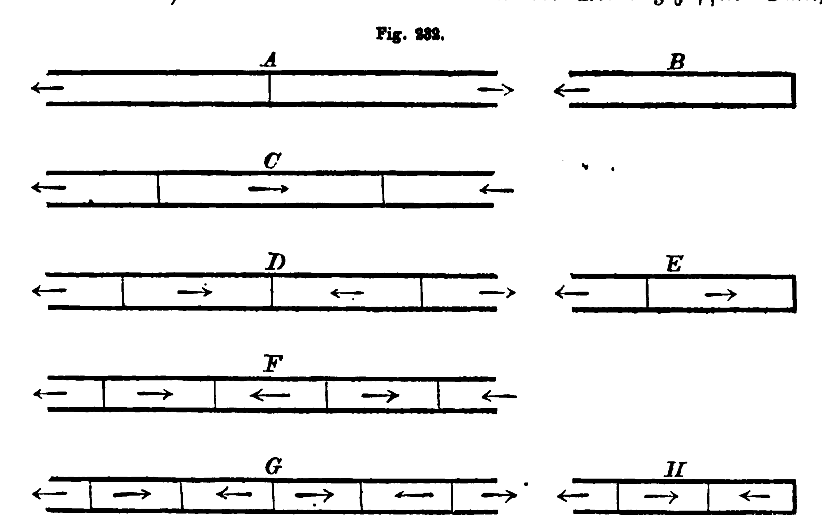
Streifen aus Papier oder Pappe, am besten der sogenannten Cartonpappe, von der angegebenen Länge (15 bis 30^{cm}) und 7 bis 10^{cm} Breite werden über einen runden Stab oder eine starke Glasröhre gerollt, um sie rund zusammenzubiegen, dann klebt man die langen Ränder mit Leim zusammen. Läßt man eine solche Röhre nach dem Trocknen des Leims wagrecht auf den Tisch fallen, so hört man einen kurzen, für sich allein nicht eben deutlichen Ton, läßt man aber die vier Röhren ziemlich schnell nacheinander auffallen, so hört man ganz gut die Abstufungen des Dreiklangs. Aus einem 10^{cm} breiten, 16^{cm} langen Streifen macht man eine Röhre von 16^{cm} Länge, die an einem Ende durch einen eingeleimten Korkboden von 1^{cm} Dicke verschlossen wird, so daß die Luftsäule im Innern 15^{cm} lang ist; legt man diese Röhre mit dem verschlossenen Ende auf den Tisch, während man das offene in einiger Höhe über dem Tisch hält und läßt dann das letztere fallen, so hört man einen Ton von gleicher Höhe mit dem der 30^{cm} langen, beiderseits offenen Röhre. Anstatt die Röhren auf den Tisch fallen zu lassen, kann man sie auch auf eine weiche Unterlage (Tuch) legen und mit einem Stäbchen (Bleistift) daran klopfen; macht man

sich eine ganze Dur-Tonleiter mit 8 Röhren von 36, 32, 28,8, 27, 24, 21,6, 19,2 und 18^{cm}, so kann man darauf förmlich Melodien spielen; diese Röhren geben ohngefähr die B-Dur-Tonleiter:



Die Obertöne der Luftsäulen in Röhren sind harmonisch, ihre Schwingungszahlen sind ganze Vielfache von der des Grundtones. Beiderseits offene Pfeifen können die ganze Reihe der Obertöne geben, wie die Saiten (vgl. S. 231), einseitig offene Röhren nur die Obertöne, deren Schwingungszahlen ungerade Vielfache von der des Grundtones sind; für den Grundton C also die Obertöne g, e', b', d''. Zwischen dem Klange einer oben offenen und dem einer oben verschlossenen (gedackten) Orgelpfeife findet danach ein ähnlicher Unterschied statt, wie zwischen dem Klange einer in der Nähe des Endes und dem einer in der Mitte gezupften Saite,

Fig. 232.



der zweite Klang ist weicher und näselnd. Im Allgemeinen sind die Obertöne bei Pfeifen viel schwächer, als bei Saiten; der Klang der Pfeifen ist deshalb immer viel weicher, als der der Saiten. Orgelpfeifen, besonders solche, welche im Verhältniß zu ihrer Länge eng sind, geben Obertöne ohne den Grundton, wenn man wesentlich stärker hineinbläst, als zur Erzeugung des Grundtones nöthig ist, man erhält auf solche Weise bei offenen Pfeifen leicht die Octave, Duodecime und zweite Octave, bei gedackten Pfeifen die Duodecime und die Terz über der zweiten Octave. In Fig. 232 ist die Art der Luftbewegung in Röhren durch kleine Pfeile angedeutet, die senkrechten Querstriche geben die Stelle der Schwingungsknoten an; in einseitig verschlossenen Röhren muß am verschlossenen Ende immer ein Schwingungsknoten liegen. A und B deuten die Luftbewegung bei dem Grundtone, C bis H die bei Obertönen an. Bei den bisjetzt betrachteten schwingenden Luftsäulen haben die starren Theile der Röhren nur den Zweck, die Luftmasse

abzugrenzen; an der Tonbildung nehmen sie nicht Theil, sie schwingen entweder gar nicht mit oder nur insofern, als sie von der heftig bewegten Luft etwas erschüttert werden; legt man die Finger an eine große, tönende Orgelpfeife, so fühlt man wol ein Zittern derselben, man kann aber die Pfeife beliebig fest fassen, ohne am Klang derselben etwas zu ändern, während selbsttönende starre Körper bei der Berührung verstummen.

Eine wesentlich verschiedene Art, Luftsäulen in Schwingungen zu versetzen, ist die mit Zuhülfnahme von starren, aber weichen, mitschwingenden Theilen. Preßt man einen Luftstrom zwischen zwei mäßig fest aufeinanderschließenden weichen Körpern hindurch (z. B. zwischen den geschlossenen Lippen, zwischen den Fingern der flach auf den Mund gelegten Hand, zwischen den Lippen und einem straff davor gehaltenen Blatt oder zwischen den zusammengedrückten Rändern eines kurzen Röhrchens aus Weidenrinde), so entsteht häufig eine Art von Ton, dessen Entstehung ähnlich ist, wie bei der Sirene. Die gepreßte Luft bahnt sich einen Weg, indem sie die verschließenden Theile etwas auseinanderbiegt, im nächsten Augenblick aber schließen sich dieselben wieder infolge ihrer Elasticität, um dann sofort von neuem von dem Luftstrom durchbrochen zu werden und so wiederholt sich der nämliche Vorgang schnell hintereinander viele Male; es entsteht dadurch eine Reihe von Luftstößen, die zusammen einen Ton geben. Die weichen Körper machen ihre Bewegung ziemlich unregelmäßig, die Luftstöße folgen nicht in genau gleichen Zeitabschnitten, der Ton ist deshalb unrein, von wechselnder Höhe und ohne Wohlklang. Bilden die weichen Theile aber zugleich den Verschluß eines am anderen Ende offenen Rohres, so geräth bei passender Stärke des Luftstromes die Luftmasse dieses Rohres in Schwingungen und dann richtet sich die Bewegung der weichen Theile nach der Geschwindigkeit dieser Schwingungen, die Luftstöße werden vollkommen regelmäßig, es entsteht ein reiner, voller und kräftiger Ton, dessen Höhe natürlich, wie bei anderen Röhren, von der Länge der schwingenden Luftsäule abhängt.

Drückt man ein Rohr (am besten von Glas, allenfalls auch Pappe) von 2^{cm} Weite und 40 bis 100^{cm} Länge an die mäßig festgeschlossenen Lippen und preßt mit dem Munde einen Luftstrom zwischen diesen hindurch in das Rohr, so findet man bald die richtige Weise, einen kräftigen, reinen Ton zu erzeugen; bei ziemlicher Länge des Rohres erhält man, wenn man die Lippen fester preßt und kräftig bläst, außer dem Grundton leicht auch die Duodecime, bei sehr langem, engen Rohr (1^{cm} bis $1^{cm},5$) noch andere, ungeradzahlige Obertöne.

Bei den meisten Blasinstrumenten, mit Ausnahme der Flöte, wird der Ton auf diese Weise erzeugt; bei Messingblasinstrumenten bilden die Lippen die schwingenden weichen Theile, bei den Holzblasinstrumenten (Clarinette u. dergl.) sind es dünne Blättchen von Holz oder Rohr, zwischen denen die Luft hindurchgetrieben wird. Die verschiedene Höhe der zahlreichen Töne eines einzelnen solchen Blasinstrumentes wird auf verschiedene Weise zu Wege gebracht. Das Rohr ist meist, zumal bei den Messinginstrumenten, sehr lang, so daß es möglich ist, durch geeignetes Anblasen eine ganze Reihe verschiedener Obertöne hervorzubringen, außerdem ist aber die Länge des Rohres veränderlich, entweder durch Ausziehen und Zusammenschieben (Posaune) oder durch Ein- und Ausschalten einzelner Rohrtheile mit Hülfe von Ventilen (Klappentrompete) oder endlich durch Oeffnen und Schließen von seitlichen Löchern (bei den Holzblasinstrumenten). In einem mit seitlichen Löchern

versehenen Rohre schwingt nur dann die Luftsäule in ihrer ganzen Länge, wenn alle Löcher zugehalten werden; öffnet man vom unteren Ende des Rohres ein Loch nach dem andern, so wirkt dies wie eine Verkürzung des Rohres, der Ton wird höher und immer höher.

Die weichen Holz- oder Rohrblättchen, welche sich mit ihrer Schwingungsgeschwindigkeit nach der der tönenden Luftsäule richten, nennt man **Zungen**, und als solche bezeichnet man wegen ihres gleichen Verhaltens auch die Lippen in ihrer Verwendung bei den Messingblasinstrumenten. Wesentlich anders als diese weichen verhalten sich die stark elastischen **metallnen Zungen**, welche bei der Mund- und Zugharmonika, Physharmonika und den sogenannten Schnarrwerken der Orgel angewendet werden. Diese Metallzungen sind viereckige, lange, schmale Blättchen von hartgehämmertem Messing oder Neusilber, welche auf einer Platte von Metall (meist von Zink) mit ihrem dickeren Ende so befestigt sind, daß sie eine viereckige Oeffnung dieser Platte beinahe verschließen; in Fig. 233 giebt A die äußere Ansicht und B den Durchschnitt einer solchen Zunge. Die Metallplatte, welche die Zunge trägt, bildet eine Wand eines kleinen Kästchens, in welches durch eine Oeffnung Luft eingetrieben werden kann, und zwar liegt die Seite, auf welcher sich die Zunge befindet, nach dem Innern des Kästchens gewendet. Wenn die Luft in einem Strome durch die viereckige Oeffnung der Metallplatte entweicht, führt sie die Zunge in der Richtung des kleinen Pfeiles mit sich fort, biegt sie etwas in die Oeffnung hinein (in die

Fig. 233.



A a. P. nat. Gr. B nat. Gr.

punktirt angedeutete Lage) und versperrt sich dadurch den Weg noch vollständiger, so daß der Luftstrom fast ganz unterbrochen wird; die Zunge schwingt nun infolge ihrer Elasticität zurück, öffnet dem Luftstrome den Durchgang von neuem, um dann im nächsten Augenblick von ihm wieder mitgenommen zu werden und die Oeffnung auf's neue zu versperren; so wiederholt sich dasselbe Spiel, so lange noch Luft in das Windkästchen getrieben wird. Läßt man eine Zunge für sich allein schwingen, indem man sie mit dem Finger etwas aufbiegt und dann losläßt, so hört man nichts oder nur eine äußerst schwache Spur eines Tones; es sind also hier nur die regelmäßigen Unterbrechungen des Luftstromes, welche, ähnlich wie bei der Sirene, den Ton erzeugen; die Höhe dieses Tones ist aber nicht, wie bei den weichen Zungen, bedingt durch die Länge einer vor der Zunge befindlichen Luftsäule, sondern durch die Länge, Dicke und Gestalt der Metallzunge, welche wegen ihrer Elasticität gerade so gut im Stande ist, Schwingungen von ganz bestimmter Schnelligkeit zu machen, wie eine Stimmgabel oder ein Stab. Die sämmtlichen harmonischen Obertöne, besonders aber die ungeradzahligen, sind in dem Klange einer solchen Zungenpfeife in großer Stärke enthalten.[36]

[36] Wie es möglich ist, daß der aus einzelnen Luftstößen zusammengesetzte Klang außer dem Grundton noch Obertöne enthält, läßt sich nur mit Hülfe der Mathematik

abzugrenzen; an der Tonbildung nehmen sie nicht Theil, sie schwingen entweder gar nicht mit oder nur insofern, als sie von der heftig bewegten Luft etwas erschüttert werden; legt man die Finger an eine große, tönende Orgelpfeife, so fühlt man wol ein Zittern derselben, man kann aber die Pfeife beliebig fest fassen, ohne am Klang derselben etwas zu ändern, während selbsttönende starre Körper bei der Berührung verstummen.

Eine wesentlich verschiedene Art, Luftsäulen in Schwingungen zu versetzen, ist die mit Zuhülfnahme von starren, aber weichen, mitschwingenden Theilen. Preßt man einen Luftstrom zwischen zwei mäßig fest aufeinanderschließenden weichen Körpern hindurch (z. B. zwischen den geschlossenen Lippen, zwischen den Fingern der flach auf den Mund gelegten Hand, zwischen den Lippen und einem straff davor gehaltenen Blatt oder zwischen den zusammengedrückten Rändern eines kurzen Röhrchens aus Weidenrinde), so entsteht häufig eine Art von Ton, dessen Entstehung ähnlich ist, wie bei der Sirene. Die gepreßte Luft bahnt sich einen Weg, indem sie die verschließenden Theile etwas auseinanderbiegt, im nächsten Augenblick aber schließen sich dieselben wieder infolge ihrer Elasticität, um dann sofort von neuem von dem Luftstrom durchbrochen zu werden und so wiederholt sich der nämliche Vorgang schnell hintereinander viele Male; es entsteht dadurch eine Reihe von Luftstößen, die zusammen einen Ton geben. Die weichen Körper machen ihre Bewegung ziemlich unregelmäßig, die Luftstöße folgen nicht in genau gleichen Zeitabschnitten, der Ton ist deshalb unrein, von wechselnder Höhe und ohne Wohlklang. Bilden die weichen Theile aber zugleich den Verschluß eines am anderen Ende offenen Rohres, so geräth bei passender Stärke des Luftstromes die Luftmasse dieses Rohres in Schwingungen und dann richtet sich die Bewegung der weichen Theile nach der Geschwindigkeit dieser Schwingungen, die Luftstöße werden vollkommen regelmäßig, es entsteht ein reiner, voller und kräftiger Ton, dessen Höhe natürlich, wie bei anderen Röhren, von der Länge der schwingenden Luftsäule abhängt.

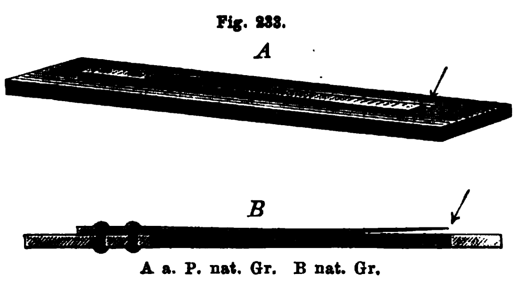
Drückt man ein Rohr (am besten von Glas, allenfalls auch Pappe) von 2^{cm} Weite und 40 bis 100^{cm} Länge an die mäßig festgeschlossenen Lippen und preßt mit dem Munde einen Luftstrom zwischen diesen hindurch in das Rohr, so findet man bald die richtige Weise, einen kräftigen, reinen Ton zu erzeugen; bei ziemlicher Länge des Rohres erhält man, wenn man die Lippen fester preßt und kräftig bläst, außer dem Grundton leicht auch die Duodecime, bei sehr langem, engen Rohr (1^{cm} bis $1^{cm},5$) noch andere, ungeradzahlige Obertöne.

Bei den meisten Blasinstrumenten, mit Ausnahme der Flöte, wird der Ton auf diese Weise erzeugt; bei Messingblasinstrumenten bilden die Lippen die schwingenden weichen Theile, bei den Holzblasinstrumenten (Clarinette u. dergl.) sind es dünne Blättchen von Holz oder Rohr, zwischen denen die Luft hindurchgetrieben wird. Die verschiedene Höhe der zahlreichen Töne eines einzelnen solchen Blasinstrumentes wird auf verschiedene Weise zu Wege gebracht. Das Rohr ist meist, zumal bei den Messinginstrumenten, sehr lang, so daß es möglich ist, durch geeignetes Anblasen eine ganze Reihe verschiedener Obertöne hervorzubringen, außerdem ist aber die Länge des Rohres veränderlich, entweder durch Ausziehen und Zusammenschieben (Posaune) oder durch Ein- und Ausschalten einzelner Rohrtheile mit Hülfe von Ventilen (Klappentrompete) oder endlich durch Oeffnen und Schließen von seitlichen Löchern (bei den Holzblasinstrumenten). In einem mit seitlichen Löchern

versehenen Rohre schwingt nur dann die Luftsäule in ihrer ganzen Länge, wenn alle Löcher zugehalten werden; öffnet man vom unteren Ende des Rohres ein Loch nach dem andern, so wirkt dies wie eine Verkürzung des Rohres, der Ton wird höher und immer höher.

Die weichen Holz- oder Rohrblättchen, welche sich mit ihrer Schwingungsgeschwindigkeit nach der der tönenden Luftsäule richten, nennt man Zungen, und als solche bezeichnet man wegen ihres gleichen Verhaltens auch die Lippen in ihrer Verwendung bei den Messingblasinstrumenten. Wesentlich anders als diese weichen verhalten sich die stark elastischen metallnen Zungen, welche bei der Mund- und Zugharmonika, Physharmonika und den sogenannten Schnarrwerken der Orgel angewendet werden. Diese Metallzungen sind viereckige, lange, schmale Blättchen von hartgehämmertem Messing oder Neusilber, welche auf einer Platte von Metall (meist von Zink) mit ihrem dickeren Ende so befestigt sind, daß sie eine viereckige Oeffnung dieser Platte beinahe verschließen; in Fig. 233 giebt A die äußere Ansicht und B den Durchschnitt einer solchen Zunge. Die Metallplatte, welche die Zunge trägt, bildet eine Wand eines kleinen Kästchens, in welches durch eine Oeffnung Luft eingetrieben werden kann, und zwar liegt die Seite, auf welcher sich die Zunge befindet, nach dem Innern des Kästchens gewendet. Wenn die Luft in einem Strome durch die viereckige Oeffnung der Metallplatte entweicht, führt sie die Zunge in der Richtung des kleinen Pfeiles mit sich fort, biegt sie etwas in die Oeffnung hinein (in die punktirt angedeutete Lage) und versperrt sich dadurch den Weg noch vollständiger, so daß der Luftstrom fast ganz unterbrochen wird; die Zunge schwingt nun infolge ihrer Elasticität zurück, öffnet dem Luftstrome den Durchgang von neuem, um dann im nächsten Augenblick von ihm wieder mitgenommen zu werden und die Oeffnung auf's neue zu versperren; so wiederholt sich dasselbe Spiel, so lange noch Luft in das Windkästchen getrieben wird. Läßt man eine Zunge für sich allein schwingen, indem man sie mit dem Finger etwas aufbiegt und dann losläßt, so hört man nichts oder nur eine äußerst schwache Spur eines Tones; es sind also hier nur die regelmäßigen Unterbrechungen des Luftstromes, welche, ähnlich wie bei der Sirene, den Ton erzeugen; die Höhe dieses Tones ist aber nicht, wie bei den weichen Zungen, bedingt durch die Länge einer vor der Zunge befindlichen Luftsäule, sondern durch die Länge, Dicke und Gestalt der Metallzunge, welche wegen ihrer Elasticität gerade so gut im Stande ist, Schwingungen von ganz bestimmter Schnelligkeit zu machen, wie eine Stimmgabel oder ein Stab. Die sämmtlichen harmonischen Obertöne, besonders aber die ungeradzahligen, sind in dem Klange einer solchen Zungenpfeife in großer Stärke enthalten.[36]

Fig. 233.



A a. P. nat. Gr. B nat. Gr.

[36] Wie es möglich ist, daß der aus einzelnen Luftstößen zusammengesetzte Klang außer dem Grundton noch Obertöne enthält, läßt sich nur mit Hülfe der Mathematik

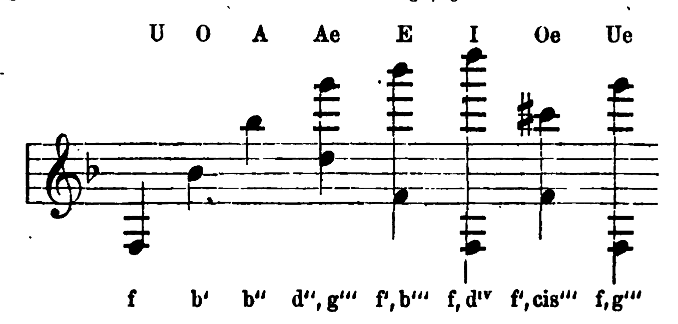
Der Klang einer Zungenpfeife ist wegen des Reichthums an Obertönen ziemlich scharf, er wird bei den Zungenpfeifen (Schnarrwerken) der Orgel verschiedentlich abgeändert, indem man auf die Zungenpfeife noch sogenannte **Schallbecher** setzt; dies sind verschiedenartig gestaltete Hohlräume, deren Luftinhalt in kräftige Mitschwingungen versetzt wird, wenn er entweder dem Grundtone oder einem der Obertöne der Zunge entspricht.

36. Stimmorgan, Vocale, Flammenzeiger. Die menschlichen Stimmwerkzeuge ähneln einer mit Schallbecher versehenen Zungenpfeife, freilich mit dem wesentlichen Unterschiede, daß eine metallne Zungenpfeife nur einen Ton von bestimmter Höhe zu geben vermag, während wir die Töne unserer Stimme nach Belieben hoch oder tief machen können. Der am oberen Ende der Luftröhre sitzende, größtentheils aus knorpeligen Theilen bestehende **Kehlkopf** enthält zwei nebeneinanderliegende, häutig-fleischige Streifen, die sogenannten **Stimmbänder**, welche die Oeffnung der Luftröhre bis auf einen schmalen, von vorn nach hinten laufenden Schlitz, die **Stimmritze**, verschließen. Beim Athemholen sind die Stimmbänder ganz schlaff, die Stimmritze ist ziemlich weit und gestattet der Luft ungehinderten Durchgang; beim Sprechen oder Singen werden die Stimmbänder durch die Muskeln des Kehlkopfs angespannt, so daß ihre Ränder dicht nebeneinander liegen und die Luft sich, wie bei einer Zungenpfeife, zwischen ihnen durchdrängen muß, indem sie dieselben in Schwingungen versetzt, so daß ein fortwährend unterbrochener Strom, eine Reihe von Luftstößen zu Stande kommt. Die Stimmbänder sind zwar weich, viel weicher sogar als die hölzernen oder Rohrblättchen der Holzblasinstrumente, trotzdem verhalten sie sich mehr wie metallne Zungen, sobald sie hinlänglich gespannt sind; ihre Elasticität und damit die Höhe des Tones, welchen sie geben, hängt nicht ab von der Größe des Hohlraumes, nach welchem sie führen (d. i. die Mundhöhle) sondern nur von der Stärke ihrer Spannung; bei schwacher Spannung geben sie tiefe, bei starker Spannung hohe Töne. Wird ein Kehlkopf aus einem Leichnam herausgenommen und mit Hülfe eines Blasebalges angeblasen, so giebt er Töne, deren Höhe man durch Veränderung der Spannung beliebig ändern kann, der Klang aber ist ganz wie der einer gewöhnlichen Zungenpfeife; ihre eigenthümliche Klangfarbe erhält die menschliche Stimme erst durch die Mundhöhle. Je nach der Stellung, welche man den einzelnen Theilen giebt, die die Mundhöhe begrenzen, nämlich dem Gaumensegel (d. i. der hintere, bewegliche Theil des Gaumens), der Zunge, dem Unterkiefer, den Lippen, erhält dieselbe eine ganz verschiedene Form und Größe und dadurch die Fähigkeit, verschiedene Töne durch Resonanz zu verstärken. Die genannten Theile theilen bei gewissen Mundstellungen die Mundhöhle in mehrere einzelne Höhlungen, die durch verhältnißmäßig engere Zwischenräume miteinander in Verbindung stehen; dann können verschiedene Töne zugleich durch die Resonanz der einzelnen Höhlungen verstärkt werden. Auf solche Weise kann die Klangfarbe der menschlichen Stimme die mannichfachsten Veränderungen erleiden, besonders wichtig und auffällig ist die Verschiedenheit der Klänge, die wir als **Vocale** bezeichnen. Zu jedem Vocale gehört eine besondere Stellung des Mundes, bei der die Mundhöhle zur Verstärkung eines ganz bestimmten

---

erklären; hier möge es genügen zu bemerken, daß man mit einer metallnen Zungenpfeife nie Obertöne allein (ohne den Grundton) hervorbringen kann, wie es mit den andern, bisjetzt betrachteten Vorrichtungen möglich ist.

Tones oder einiger ganz bestimmter Töne fähig ist und zwar gehören zu den folgenden Vocalen immer die darunter gesetzten Töne:



Diese Töne der Mundhöhle sind immer dieselben, welches auch die Höhe des im Kehlkopf erzeugten Tones ist und wie verschieden auch sonst die Personen sind, welche die Vocale hervorbringen. Wenn man mit flüsternder Stimme spricht, d. h. so, daß im Kehlkopf gar kein Ton erzeugt wird, so treten diese allerdings ziemlich schwachen Töne allein auf, nur begleitet von dem schwachen Geräusch der aus dem Munde austretenden Luft. Bringt man dicht vor den Mund Stimmgabeln, welche auf die oben angegebenen Töne abgestimmt sind und giebt dem Munde die zur Hervorbringung der einzelnen Vocale dienenden Stellungen, so wird durch Resonanz in der Mundhöhle jedesmal der Ton der entsprechenden Stimmgabel ganz bedeutend verstärkt.

Die Anschaffung einer ganzen Reihe von Stimmgabeln zu diesen Versuchen ist sehr kostspielig, man kann sich aber leicht eine Stimmgabel für den Ton b' verschaffen, der zum Vocal O gehört. Man feilt nämlich von einer gewöhnlichen Stimmgabel, welche den Ton a' giebt, ein ganz kurzes Stück der Zinken ab, dadurch wird ihr Ton höher. Zu diesem Zweck spannt man die Gabel so in den Schraubstock (natürlich mit Blei- oder Kupferbacken), daß beide Zinken nur ganz wenig über die Backen vorstehen und thut jedesmal nur wenige Striche mit einer nicht zu groben Feile, während man dazwischen immer die Gabel aus dem Schraubstock nimmt und auf ihre Tonhöhe prüft. Kann man sich nicht auf sein Gehör allein verlassen, so vergleicht man die Gabel mit dem Ton b' eines richtig gestimmten Claviers, indem man sie anschlägt und mit dem Stiele auf den Resonanzboden drückt, während man zugleich die Taste b' mäßig stark anschlägt und dauernd niedergedrückt hält, man bekommt dann, solange beide Töne noch verschieden hoch sind, ganz ähnliche Schwebungen wie beim Abstimmen der Saiten (S. 230).

Um die angeschlagene Stimmgabel möglichst dicht vor den Mund halten zu können, ohne doch die Lippen damit zu berühren und dadurch die Schwingungen aufzuheben, stellt man sich vor einen Spiegel. Man hält die Gabel so, daß der Stiel wagrecht ist, die beiden Zinken übereinander liegen und sich die freien Enden derselben vor dem Munde befinden. Es gelingt nicht jedem gleich, dem Munde die richtige Stellung für die einzelnen Vocale zu geben, ohne wirklich einen Laut von sich zu geben, deshalb empfiehlt es sich, die Vocale der Reihe nach mit flüsternder Stimme zu sprechen; sobald man an den Vocal O kommt, wird der Ton der Stimmgabel bedeutend verstärkt; man erkennt ihn selbst dann noch ganz gut, wenn man die Reihe der Vocale in verschiedener Höhe mit schwacher Kehlstimme ausspricht, um sich zu überzeugen, daß der Ton der Mundhöhle für den bestimmten Vocal immer derselbe bleibt, welches auch die Tonhöhe des eigentlichen Kehlkopftones ist.

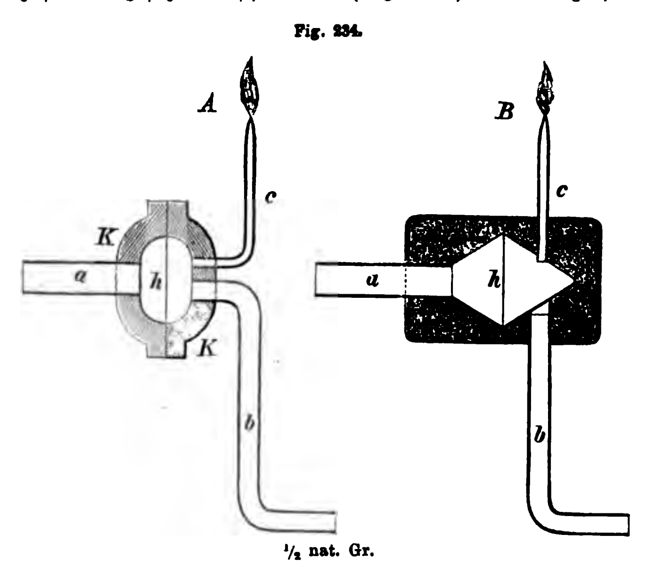
Die Vocaltöne der Mundhöhle lassen sich auch dadurch für sich allein hörbar machen, daß man einen breiten Luftstrom über die Lippen oder an

die Schärfe der Zähne bläst, also in ganz ähnlicher Weise, wie die Töne der in Röhren eingeschlossenen Luftmasse, es gehört aber dazu ziemliche Uebung und ein Blasebalg, der einen andauernden, gleichmäßigen Luftstrom liefert.

Die Consonanten sind nicht wirkliche Töne, sondern Geräusche verschiedener Art; das S entsteht z. B. durch das zischende Entweichen der Luft zwischen der Zungenspitze und der oberen Zahnreihe, das F durch ein ähnliches Entweichen der Luft zwischen der oberen Zahnreihe und der Unterlippe, das R durch ein schnell hintereinanderfolgendes Unterbrechen des im Kehlkopf gebildeten Tones, indem entweder das Gaumensegel oder die vorderen seitlichen, an die oberen Zähne angelegten Zungenränder in ähnliche, aber viel langsamere Schwingungen versetzt werden, wie die Stimmbänder u. s. f.

Eine recht interessante Vorrichtung, mit der man die Verschiedenheit der Vocale sichtbar machen und noch andere akustische Versuche anstellen kann, ist der Flammenzeiger, auch Gasflammenmanometer genannt. Der wesentlichste Theil eines solchen Flammenzeigers ist eine aus zwei Theilen zusammengesetzte Kapsel K K (Fig. 234), deren Hohlraum durch ein feines Häutchen h in zwei Theile getheilt ist. In den einen Theil führt ein Rohr a, an welches ein Kautschukschlauch gesteckt wird, der als Schallrohr dient; in den anderen Theil wird durch das Rohr b ein brennbares Gas eingeleitet, das durch das Röhrchen c entweicht und an der Spitze desselben entzündet wird.

Fig. 234.



$^1/_2$ nat. Gr.

Werden die Wellen eines Tones durch den Kautschukschlauch und das Rohr a in die vordere Hälfte der Kapsel hineingeleitet, so versetzen sie das dünne Häutchen mit in Schwingungen und dieses erschüttert wieder das durch die hintere Kapselhälfte strömende Gas, welches infolge dessen nicht gleichmäßig, sondern stoßweise ausströmt. Man erhält dann, anstatt einer einzelnen, ruhig brennenden Flamme eine sehr schnelle Aufeinanderfolge einzelner Flämmchen, ganz ähnlich wie bei der chemischen Harmonika. Jeder Schwingung des Tones entspricht ein Flämmchen, welches hervorgetrieben wird, indem die ankommende Luftverdichtung das Häutchen nach der gasgefüllten Kapsel zu drückt und dadurch das Gas etwas zusammenpreßt. Bei der nachfolgenden Luftverdünnung geht das Häutchen nach der entgegengesetzten Seite, der Druck des Gases vermindert sich und das Ausströmen des Gases hört für den Augenblick ganz auf oder wird wenigstens viel schwächer.

Wenn man die Flamme mit ruhigem Auge unmittelbar ansieht, bemerkt man nur, daß sie sich bei der Einwirkung eines Tones etwas verlängert, weil durch die einzelnen Stöße das Gas kräftiger und deshalb bis zu einer größeren Höhe herausgetrieben wird. Ganz anders erscheint die Sache aber für jemand, der die Flamme aus einer Entfernung von $1^m,5$ bis 3^m betrachtet, während er den Kopf mäßig schnell nach der Seite hin- und herdreht. Dabei fällt nämlich das Bild der Flamme auf immer andere Theile im Auge, anstatt der schmalen Flamme erblickt man, wenn dieselbe ruhig brennt, einen stark in die Breite gezogenen Streifen; wirkt aber auf den Flammenzeiger ein Ton ein, so erblickt man eine Reihe einzelner nebeneinanderliegender Flämmchen.

Dieses Kopfschütteln gestattet jedoch keine genaue Betrachtung der Flammenbilder, überdies ist es sehr unbequem und erzeugt leicht Kopfschmerz; besser ist es, sich eines Operngucker zu bedienen, den man etwas hin- und herbewegt, während man den Kopf ruhig hält.

Das beste Mittel zur Untersuchung der Flamme ist die Betrachtung derselben in einem bewegten Spiegel. Ein viereckiger Kasten, dessen Seitenwände aus Spiegelglas bestehen, wird in der Nähe der Flamme mit mäßiger Geschwindigkeit um sich selbst gedreht und gestattet einer großen Anzahl von Personen gleichzeitig die bequeme Beobachtung der Erscheinungen.

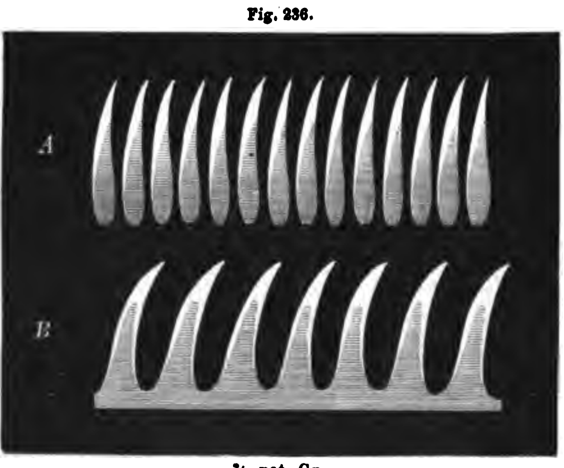
Fig. 235.

¼ nat. Gr.

Das Spiegelbild eines Gegenstandes erscheint in einem ebenen Spiegel immer soweit hinter dem Spiegel, als sich der Gegenstand vor demselben befindet, und zwar auf der Linie, welche von dem Gegenstande aus rechtwinkelig durch den Spiegel hindurchgeht (vgl. weiter unten §. 39). In Fig. 235 sei (von oben gesehen) I I s p der viereckige Spiegelkasten in einem bestimmten Augenblick und II II, III III, IV IV und V V seien die Stellungen, in denen sich die Wand I I in vier kurz darauf folgenden Zeitpunkten befindet; f sei die Flamme. Zieht man von f eine Linie f a rechtwinkelig auf I I, verlängert dieselbe und macht die Verlängerung ebenso lang wie f a, so findet man den Ort des Spiegelbildes der Flamme, derselbe ist in der Figur mit 1 bezeichnet. An dieser Stelle erscheint das Flammenbild aber nur, solange der Spiegel die Stellung I I hat, befindet er sich in der Stellung II II, so findet man auf ähnliche Weise als Ort des Flammenbildes die mit 2 bezeichnete Stelle, befindet er sich in der Stellung III III, die Stelle 3 u. s. f. Indem der Spiegel bei seiner Drehung nach und nach aus der Stellung I I in die Stellung V V übergeht, rückt das Flammenbild von 1 über 2, 3 und 4 nach 5; brennt die Flamme gleichmäßig fort, so erscheint sie im Spiegel als ein von 1 bis 5

ausgedehnter Streifen, besteht sie aber aus einzelnen, kurz aufblitzenden Flämmchen, so erscheinen diese im Spiegel nebeneinanderliegend, Fig. 236 A. Die Entfernung der einzelnen Flammenbildchen voneinander hängt ab von der Geschwindigkeit, mit welcher der Spiegelkasten gedreht wird und von der Höhe des Tones, dessen Schwingungen auf das Häutchen der Flammenzeigerkapsel einwirken. Je schneller man den Spiegel dreht, um so mehr rückt das Flammenbild in einer gewissen Zeit nach der Seite fort, um so weiter müssen also auch die, den einzelnen Schwingungen entsprechenden Flammenbildchen auseinanderrücken. Dreht man den Spiegel mit gleichbleibender Geschwindigkeit, so kommen auf denselben Raum um so weniger Flammenbildchen, je weniger Schwingungen in einer gewissen Zeit erfolgen, die Bildchen rücken also um so weiter auseinander, je tiefer der einwirkende Ton ist. Fig. 236 B zeigt das Bild, welches der tieferen Octave des Tones entspricht, welcher das Bild A giebt. (Da das Bild einer Flamme im Spiegel um so mehr nach der Seite gerückt erscheint, je später die Flamme auftritt, so müssen die letzten aufsteigenden Theile des brennenden Gases jedesmal mehr nach der Seite gerückt erscheinen, als die zuerst austretenden, deshalb erscheinen immer die oberen Spitzen der Flammen seitwärts eingebogen. Sind die einzelnen Luftstöße nicht sehr kurz und stark, so hört das Ausströmen des Gases dazwischen nicht ganz auf, sondern wird nur schwächer, die Flammen hängen dann an ihrem unteren Theile zusammen, wie Fig. 236 B.)

Fig. 236.



$^2/_3$ nat. Gr.

Behufs der Herstellung eines Flammenzeigers läßt man sich vom Drechsler zwei kleine schüsselförmige Näpfchen aus hartem Holz drehen, deren Durchschnitt aus Fig. 234 A zu erkennen ist. Nachdem man die zum Einsetzen der Röhren nöthigen Löcher gebohrt hat, bestreicht man den ebenen Rand des einen hölzernen Näpfchens dünn mit Leim, spannt ein Stückchen Goldschlägerhaut[37] darüber und deckt den gleichfalls mit Leim bestrichenen Rand des zweiten Näpfchens darauf; damit nicht unnöthig viel Leim zwischen den beiden Haftflächen bleibt, kann man das Ganze während des Trocknens mäßig im Schraubstock zusammenpressen; nach dem Trocknen entfernt man mit einem scharfen Messer den herausgequollenen Leim und die vorstehenden Ränder des Goldschlägerhäutchens. Die drei Röhren macht man am einfachsten aus Glas, ihre Form und Größe ergiebt sich aus der Figur, die Oeffnung in der Spitze von c soll etwa $0^m,4$ betragen. Den senkrechten Theil des Rohres b

[37] Goldschlägerhäutchen sind äußerst feine Häutchen, welche aus thierischen Därmen dargestellt werden. Die Goldschläger legen dieselben bei ihrer Arbeit zwischen die einzelnen, zu schlagenden Goldblättchen. Für den vorliegenden Zweck kann man auch ein ganz dünnes Kautschukblättchen, anstatt des Goldschlägerhäutchens nehmen, muß aber dann die Kapselhälften durch drei Holzschrauben, anstatt durch Leim, verbinden.

klemmt man in einen Retortenhalter. Zweckmäßig ist es, die fertige Kapsel so oft mit Asphaltlack zu überstreichen, bis derselbe nach dem Trocknen glänzend erscheint, weil das Holz an und für sich nicht ordentlich gasdicht ist.

Allenfalls kann man auch eine Kapsel aus einem großen Korke herstellen, den man in der Mitte durchschneidet, mit den nöthigen Löchern zum Einsetzen der Röhren versieht und dann mit einer schmalen, scharfen Messerklinge (Federmesser) in beiden Hälften kegelförmig aushöhlt, Fig. 234 B. Da so große Korke selten einigermaßen dicht sind, überzieht man am besten die ganze Oberfläche nach dem Trocknen des Leims mit einer 1 bis 2^{mm} dicken Siegellackschicht.

Zu dem Spiegelkasten läßt man sich 4 rechteckige Stücke gewöhnliches Spiegelglas, je 14^{cm} lang und 12^{cm} breit schneiden, den Boden bildet ein Quadrat von 14^{cm} Seitenlänge aus recht starker Pappe, das in der Mitte 5^{mm} weit durchbohrt ist, um es mittelst der Schraube auf die Scheibe der Schwungmaschine befestigen zu können; die obere Seite des Kastens bleibt offen, damit man mit der Hand bequem zu dieser Schraube gelangen kann. Mit Hülfe von 1,5 bis 2^{cm} breiten Papierstreifen, die man recht dünn mit mäßig dickem Leim bestreicht, klebt man die Kanten des Kastens vorläufig zusammen; nachdem der Leim trocken geworden, überklebt man die Kanten mit $2^{cm},5$ breitem, schwarzen Leinwandband; für dieses muß man ziemlich dickflüssigen Leim anwenden. Zuerst klebt man auf die vier senkrechten Wände vier einzelne Stücke Band von passender Länge, um den oberen und unteren Rand kommt dann je ein einziges Band von solcher Länge, daß seine Enden 2 bis 3^{cm} übereinandergreifen; auf diese Weise beugt man einem Zerreißen des Kastens durch die Centrifugalkraft am sichersten vor. Sowol oben als unten klebt man nur die Hälfte der Bandbreite auf die äußere Seite des Kastens, die andere Hälfte schlägt man oben nach innen herein und unten auf den Boden des Kastens um, unten muß man an den vier Ecken Einschnitte in das Band machen, damit die umgeschlagenen Theile des Bandes sich glatt aufeinanderlegen.

Die Flamme soll 10 bis 15^{cm} von dem Kasten entfernt sein; damit sie nicht durch den von der Drehung derselben bewirkten Luftzug beunruhigt wird, umgiebt man sie mit einem Glascylinder, am einfachsten mit dem abgesprengten, engen Theile eines Moderateurcylinders. (Enger oder länger darf man diesen Cylinder nicht nehmen, sonst fängt er leicht an, nach Art der chemischen Harmonika, selbst zu tönen.)

Damit man die schwachen Flammenbilder gut erkennen kann, stellt man die Versuche bei Abend im dunkeln Zimmer an. Zum Speisen der Gasflamme ist Leuchtgas am bequemsten, hat man dieses nicht, so muß man Wasserstoff anwenden; die Flamme des reinen Wasserstoffs ist aber so schwachleuchtend, daß ihre Bilder selbst im Dunkeln kaum zu erkennen sind; man leitet deshalb den Wasserstoff aus dem Hahne h des Apparates Fig. 156 mittelst eines Kautschukschlauches erst durch ein Opodeldocglas, welches wie das des Apparates Fig. 154 eingerichtet ist; die Baumwolle dieses Gläschens wird aber mit Petroleumäther (sog. Ligroin) befeuchtet. Der Dampf dieser leicht verdunstenden Flüssigkeit mengt sich dem durchströmenden Wasserstoff bei und ertheilt ihm die Eigenschaft, mit stark leuchtender Flamme zu brennen.

Im Nothfalle kann man auch den Apparat Fig. 154 benutzen und dann den Petroleumäther gleich auf die Baumwolle des Opodeldocglases bringen, das sich an diesem Apparate befindet; es geschieht aber sehr leicht, daß die Gasflamme entweder zu klein ausfällt, wenn man zu wenig, oder zu groß, wenn man zu viel Schwefelsäure aufgegossen hat; in letzterem Falle steigt auch die Flüssigkeit leicht durch das Trichterrohr in die Höhe und läuft über.

Die Kurbel der Schwungmaschine wird nur ganz langsam gedreht, so daß der Spiegelkasten etwa eine Umdrehung in der Secunde macht; man kann auch, anstatt an der Kurbel zu drehen, eine Fingerspitze leicht auf eine der oberen Ecken des Kastens legen und diesen so herumführen.

Der Kautschukschlauch, welcher an das Rohr a angesteckt wird, soll womöglich 8^{mm}, jedenfalls nicht unter 6^{mm} weit sein; seine Länge kann 0,3 bis 1^{m} betragen. An das freie Ende desselben kann man einen kleinen Trichter mit möglichst weitem Rohr stecken und in diesen hinein singen, pfeifen oder dergl.; am einfachsten ist es, das Schlauchende ohne Trichter ganz leicht zwischen die Zähne zu nehmen, so daß es

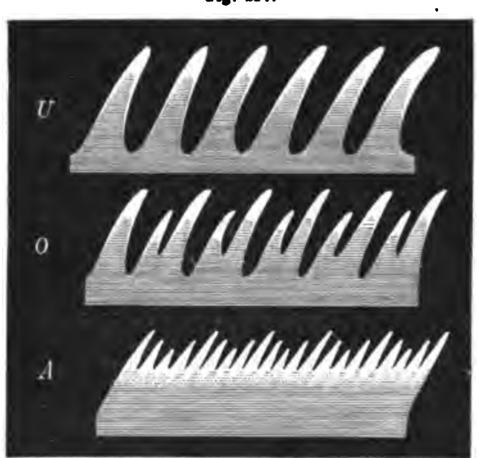
nicht merklich zusammengedrückt wird und dann die Töne mit halb geöffnetem Munde zu singen oder auch mit ganz geschlossenem Munde zu brummen.

Der gedrehte Spiegelkasten dient auch zur Untersuchung der Flamme der chemischen Harmonika; diese Flamme liefert ganz ebenso, wie die des Gasflammenmanometers einzelne, nebeneinanderliegende Flammenbilder.

Die in Fig. 236 dargestellte Ansicht bietet die Flamme im rotirenden Spiegel, wenn auf sie ein einfacher Ton einwirkt, d. h. ein solcher, welcher nicht von merklichen Obertönen begleitet ist; man erhält dieses Bild, wenn man in den Schlauch hinein brummt oder den Vocal U singt oder spricht; singt man auf diesen Vocal die Tonleiter von unten nach oben, während man den Spiegelkasten möglichst gleichmäßig dreht, so rücken die Flammenbilder enger und immer enger zusammen. Der Ton f, welchen die Mundhöhle beim Vocal U giebt, ist zu schwach, um eine merkliche Wirkung auf den Flammenzeiger zu äußern.

Singt man dagegen den Vocal O, so erhält man ein wesentlich anderes Flammenbild, weil außer dem im Kehlkopf erzeugten Tone auch der Mundhöhlenton b′ des Vocales O auf den Flammenzeiger einwirkt. Singt man den Vocal in verschiedener Höhe, so rücken nicht nur die einzelnen Bilder näher zusammen oder weiter auseinander, sondern es ändert sich das Aussehen des ganzen Bildes, weil von den beiden Tönen nur der Kehlkopfton sich ändert, also nur die diesen entsprechenden Flammenspitzen ihre gegenseitige Entfernung ändern, während die dem Mundhöhlenton b′ entsprechenden Spitzen ihre Entfernung unverändert beibehalten. Am übersichtlichsten wird das Bild, wenn man das O auf den Ton b


Fig. 237.



$^2/_3$ nat. Gr.



singt, so daß der Kehlkopfton gerade die tiefere Octave des Mundhöhlentones ist; daß also auf eine Schwingung des ersteren zwei Schwingungen des letzteren kommen. Der Kehlkopfton würde dann etwa das Bild Fig. 236 B, der Mundhöhlenton das Bild Fig. 236 A geben, wenn jeder für sich allein da wäre, zusammen geben sie das in Fig. 237 mit O bezeichnete Bild, welches man als die Summe der beiden Bilder Fig. 236 ansehen kann; mit jeder zweiten Flamme des Bildes A (Fig. 236) kommt eine des Bildes B zusammen und vereinigt sich damit zu einer größeren Flamme; zwischen diesen größeren von beiden Tönen veranlaßten Flammen liegen kleinere, die ihre Entstehung nur dem höheren Mundhöhlentone verdanken.

Giebt man in derselben Tonhöhe (b) den Vocal A an, so erhält man das mit A bezeichnete Bild Fig. 237. Der Kehlkopfton des Vocales A (b″) ist die zweite höhere Octave des Tones b, es kommen also auf jede Schwingung

des Kehlkopftones $2 \cdot 2 = 4$ Schwingungen des Mundhöhlentones, jedes vierte Flammenbild dieses letzteren fällt mit einem Flammenbilde des ersteren zusammen, es ist also jedesmal die vierte Zacke des ganzen Bildes größer, als die drei vorhergehenden.

Wieder andere Bilder, als die drei besprochenen Vocale, geben E, I und die Diphtonge; diese Bilder sind aber verwickelter und weniger leicht zu verstehen, als die von U, O und A, weil bei jenen Lauten außer dem Kehlkopfton noch zwei Töne gleichzeitig auf den Flammenzeiger einwirken; es kommen dann im Allgemeinen nicht mehr so deutlich getrennte Flammenbilder zu Stande, sondern nur Ausbiegungen und feine Zäckchen, die das ganze Bild etwas undeutlich begrenzt machen.

37. Schwebungen, Consonanz, Dissonanz. Erklingen gleichzeitig zwei Töne von fast gleicher Höhe, so daß das Ohr ihre Verschiedenheit gar nicht oder nur eben wahrnehmen kann, so hört man den gemeinschaftlichen Klang an Stärke regelmäßig ab- und zunehmen, wie schon in §. 34 erwähnt ist. Rühren die beiden Töne von verschiedenen Instrumenten her oder sind sie verschieden stark, so sind diese Veränderungen der Tonstärke, die Schwebungen oder Schläge nicht so auffällig, als wenn beide Töne gleich stark sind und von gleichen Instrumenten herrühren, also ganz gleiche Klangfarbe besitzen. In letzterem Falle sind die zwischen die einzelnen Anschwellungen (Stöße, Schläge) fallenden Abnahmen der Tonstärke (Pausen) so vollkommen, daß der Klang auf Augenblicke fast ganz verschwindet. Wenn die beiden tönenden Körper genau gleichzeitig anfangen zu schwingen, so daß etwa beide gleichzeitig eine Verdichtung der Luft bewirken, so werden ihre Wirkungen sich beträchtlich verstärken, sie geben zusammen einen lauteren Klang, als ihn der eine tönende Körper allein geben würde. Bald aber wird die Verstärkung geringer; da der eine Körper etwas schneller schwingt als der andere, fallen die von beiden Körpern erzeugten Verdichtungen und Verdünnungen nicht mehr genau zusammen und nach kurzer Zeit fällt die von einem Körper erzeugte Verdichtung zusammen mit einer von dem andern Körper hervorgerufenen Verdünnung und umgekehrt; die beiden Klänge heben sich gegenseitig auf, und zwar geschieht dies, wenn der eine dem anderen um eine halbe Schwingung vorausgeeilt ist. Nachdem aber der eine Körper eine ganze Schwingung mehr gemacht hat, als der andere, erfolgen die Verdichtungen und Verdünnungen beider wieder gleichzeitig, die Töne verstärken sich wieder; nachdem der eine Ton anderthalb Schwingung mehr gemacht hat, heben sie sich zum zweiten Male auf u. s. f. So viele Schwingungen der eine Ton in der Secunde mehr macht, als der andere, so viele mal trifft eine von ihm hervorgerufene Luftverdichtung genau zusammen mit einer Verdichtung und ebenso viele mal mit einer Verdünnung des anderen Tones; so oft werden die Töne sich verstärken und schwächen; so viele Schwebungen finden in der Secunde statt.

Mit Hülfe des zweisaitigen Monochords kann man sich leicht überzeugen, daß die Schwebungen um so schneller erfolgen, je verschiedener die beiden Töne sind. Wenn man von zwei genau gleichgestimmten Saiten die eine nach und nach etwas höher oder tiefer stimmt, erhält man nach und nach schnellere und immer schnellere Schwebungen. Will man recht langsame Schwebungen haben, so stimmt man die eine der anfangs gleichgestimmten Saiten dadurch etwas tiefer, daß man sie in der Mitte etwas beschwert, ohne ihre Spannung zu ändern. Man wickelt ein Stück ausgeglühten Kupfer- oder Messingdraht (etwa $0^{mm},5$ dick und 10^{cm} lang) um den

mittleren Theil der Saite in dicht aneinanderliegenden Windungen, wie es beim Umspinnen der Saiten geschieht.

Um die Schwebungen deutlich zu hören, empfiehlt es sich, die Saiten mit dem zweiten und dritten Finger der rechten Hand gleichzeitig zu zupfen und zwar gerade in der Mitte; beim Zupfen in der Mitte fallen die geradzahligen Obertöne weg. Die Obertöne sind schuld daran, daß der Ton in den Pausen nicht ganz aufhört; da sie 2, 3, 4 u. s. f. mal so viele Schwingungen machen, als der Grundton, so geben sie auch 2, 3, 4 u. s. f. mal so schnelle Schwebungen. Der gewöhnlich am deutlichsten hörbare Oberton, die Octave des Grundtones giebt 2 Schwebungen, während dieser eine giebt, es fällt deshalb je ein Schlag der Octave mit einer Pause des Grundtones zusammen. Ein empfindliches Ohr vermag bei langsamen Schwebungen von nahe am Ende gezupften Saiten in der That wahrzunehmen, daß in den Pausen des Grundtones die Octave hervortritt; in jedem Falle aber wird in den Pausen kein völliges Verstummen des Klanges eintreten, wenn dieser Obertöne in merklicher Stärke enthält. Das Zupfen der Saiten in der Mitte beseitigt die geradzahligen Obertöne, also auch die starkklingende Octave und macht dadurch die Pausen deutlicher; noch vollkommener werden dieselben, wenn man anstatt der Klänge von Saiten die Töne von Stimmgabeln benutzt, welche frei von Obertönen sind. Zwei gewöhnliche, gekaufte a′-Gabeln geben fast immer sehr schöne, langsame Schwebungen, wenn man sie möglichst gleich stark anschlägt und nebeneinander auf den Tisch oder einen Résonanzboden stemmt, weil die käuflichen Stimmgabeln selten ganz genau gleich sind. Hat man zwei wirklich gleiche Gabeln, so kann man leicht die eine dadurch ein wenig tiefer stimmen, daß man auf das Ende von einer oder beiden Zinken kleine Kautschukringe aufschiebt, die man mit einer scharfen Scheere von einem engen Schlauch von 1^{mm} Wandstärke abschneidet.

Langsame Schwebungen, welche man noch zählen kann, sind für das Ohr nicht unangenehm, werden sie aber schnell, so daß ihrer 20 und mehr in der Secunde erfolgen, so machen sie den Klang rauh und kratzend. Solche schnelle Schwebungen sind die Ursache des Mißklangs (der Dissonanz), welche gewisse Tonzusammenstellungen geben. Zwei Töne, welche um einen halben Ton voneinander verschieden sind, z. B. h′ und c″, klingen zusammen entsetzlich schlecht; h′ macht 495, c″ 528 Schwingungen in der Secunde; sie geben also zusammen 528 — 495 = 33 Schwebungen. Giebt man auf einem Pianoforte (noch besser auf einer Physharmonika) H C an, so kann man deutlich zählen, daß in der Secunde reichlich vier Schwebungen erfolgen (die Schwingungszahlen $62^{15}/_{16}$ und 66 ergeben $3^{1}/_{16}$ Schwebungen); die langsamen Schwebungen würden für sich allein keineswegs unangenehm sein; daß H C trotzdem nicht weniger schlecht klingt, als h′ c″ hat seinen Grund in den rascheren Schwebungen, welche die Obertöne der tieferen Klänge geben. Ebenso schlecht wie h′ c″ klingt aber auch c′ h′, obgleich diese zwei fast eine Octave voneinander verschiedenen Töne selbst keine Schwebungen geben;[38] hier entstehen aber schnelle Schwebungen durch das Zusammenwirken des einen Grundtones h′ mit dem Obertone c″, der in dem Klange von c′ enthalten ist.

Aehnliches läßt sich für andere Dissonanzen nachweisen; f′ h′ klingt hauptsächlich deshalb schlecht, weil das im Klange von f′ als Oberton enthaltene c‴ (mit 3 · 352 = 1056 Schwingungen) mit der im Klange von h′

---

[38] Die Erklärung des Umstandes, daß Schwebungen nur beim Zusammenklang von Tönen entstehen, deren Höhe nicht zu sehr verschieden ist, überschreitet die Grenzen dieses Buches; dasselbe gilt von den Combinationstönen, deren Schwebungen ebenfalls den Zusammenklang zweier Töne beeinflussen können.

enthaltenen Octave h'' ($2 \cdot 495 = 990$ Schwingungen) in der Secunde $1056 - 990 = 66$ Schwebungen giebt.

Untersucht man, welche Tonzusammenstellungen möglich sind, ohne daß schnelle Schwebungen von beträchtlicher Stärke entstehen (entweder durch die Grundtöne oder durch Obertöne der Klänge), so ergiebt sich, daß es nur diejenigen sind, welche man als wohlklingend (als Consonanzen) bezeichnet. Bei der Octave entstehen gar keine Schwebungen, bei der Quinte und Quarte nur schwache durch ziemlich hohe, nicht mehr sehr ins Gehör fallende Obertöne, etwas stärkere Schwebungen entstehen bei den übrigen Consonanzen (große und kleine Terz, große und kleine Sexte), die deshalb auch nicht ganz so wohlklingend sind, als die zuerst genannten.

Das Vorhandensein oder Fehlen stärkerer, schneller Schwebungen ist also der einzige Grund für den Mißklang oder Wohlklang gleichzeitig erklingender Töne.[39]

---

[39] Für Personen mit empfindlichem und geübten Gehör läßt sich dies in überraschender Weise darthun. Ein Intervall nämlich, welches auf allen gebräuchlichen Instrumenten eine abscheuliche Dissonanz giebt, erscheint völlig wohlklingend bei Anwendung von Tönen, welche frei von Obertönen sind und deshalb die schnellen Schwebungen nicht geben, die man sonst bekommt, nämlich ein Intervall, welches zwischen der kleinen und großen Terz liegt. Von drei c''-Stimmgabeln, die man im Handel leicht bekommt, läßt man eine unverändert, so daß sie mit einer gewöhnlichen a'-Gabel eine kleine Terz bildet; eine zweite feilt man an den Enden der Zinken so weit ab, daß sie cis'', also die große Terz von a' giebt; die dritte feilt man nur soviel ab, daß sie zwischen c'' und cis'' die Mitte hält; mit a' zugleich angeschlagen und auf den Tisch gestellt, giebt diese Gabel eine ebenso gute Consonanz, wie a' c'' und a' cis''.

Optik,

d. i. Lehre vom Licht.

---

38. **Fortpflanzung des Lichtes, Schatten, Photometer.** Weitaus die meisten Kenntnisse von der Beschaffenheit der Dinge, die uns umgeben, erlangen wir durch das Licht, das, von ihnen ausgehend, unser Auge trifft. Das Gefühl vermag nur die in unmittelbarster Nähe befindlichen Gegenstände wahrzunehmen; dem Ohre werden die Körper nur vernehmbar, wenn sie tönen, also unter verhältnißmäßig seltenen Umständen; das Auge erkennt die Dinge bis in die weitesten Fernen, wenn sie nur hell genug sind und die zum Sehen nöthige Helligkeit ist viel häufiger und anhaltender vorhanden, als die Schwingungsbewegung, welche die Körper tönen läßt. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Wahrnehmung des Schalles und der des Lichtes besteht darin, daß das Auge genau die Richtung erkennt, aus welcher das Licht kommt, während das Ohr nur einen ganz unsicheren Schluß gestattet auf die Richtung, in welcher sich ein tönender Körper befindet. Ist sonach in mancher Beziehung das Auge dem Ohr überlegen, so hat dieses seinerseits den Vorzug, daß es den Schall auch dann noch wahrnimmt, wenn zwischen dem tönenden Körper und dem Ohre Gegenstände sind, welche den Schall nicht fortpflanzen, so daß der Schall einen Umweg machen muß, um zum Ohre zu gelangen, während das Auge nur in gerader Richtung sehen kann, so daß uns ein undurchsichtiger Körper alles verbirgt, was sich hinter ihm befindet — wir vermögen um die Ecke zu hören, aber nicht um die Ecke zu sehen.

Aus der sorgfältigen Untersuchung gewisser Erscheinungen, welche das Licht darbietet, hat man mit aller Bestimmtheit erkannt, daß dasselbe, ebenso wie der Schall, eine Schwingungsbewegung ist, freilich eine von der des Schalles in vielen Beziehungen verschiedene. Die Darlegung dieser Schwingungsbewegungen ist hier vollkommen ausgeschlossen, weil sie tieferes Studium und nicht unbedeutende mathematische Vorkenntnisse erfordert, es mag nur bemerkt werden, daß es nicht Schwingungen der Luft oder anderer Körper sind, welche das Licht fortpflanzen, sondern Schwingungen eines für unsere Sinne nicht wahrnehmbaren Etwas, des Aethers, welcher alle, auch die nach unseren gewöhnlichen Begriffen leeren Räume erfüllt.

Jeden Körper, von dem Lichtstrahlen ausgehen, also jeden Körper, den wir sehen können, nennen wir l e u c h t e n d. Die meisten Körper werden nur

dadurch leuchtend, daß sie Licht (Sonnenlicht, Tageslicht, Lampenlicht oder dergl.) zurückwerfen, welches auf sie fällt; einzelne Körper — die Sonne, die Fixsterne, brennende und andere glühende Stoffe — sind **selbstleuchtend**.

Von einem leuchtenden Körper aus, der sich in einer Umgebung von Luft oder in einem leeren Raume befindet, breitet sich das Licht nach allen Richtungen hin gleichmäßig aus. Die Geschwindigkeit, mit der es sich fortpflanzt, ist ganz außerordentlich groß, unvergleichlich viel größer, als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls. Das Licht legt in einer Secunde einen Weg von etwa 40600 Meilen zurück. Die Bestimmung dieser großen Geschwindigkeit ist zuerst möglich geworden durch die Beobachtung der Jupitermondfinsternisse.

Fig. 238.

d_1 c_1 b_1 a_1 b c a d

$^1/_{7\,500\,000\,000\,000}$ nat. Gr.

Der Planet Jupiter, der um die Sonne eine Bahn von etwa 5mal so großem Durchmesser beschreibt, als die Erde, hat vier Monde, von denen ihm einer so nahe steht, daß er bei jedem Umlaufe einmal in den Schatten des Jupiter geräth, also verfinstert wird und da dieser Mond sich sehr schnell um den Jupiter bewegt (er vollendet einen Umlauf in ohngefähr 42 Stunden 28 Minuten 36 Secunden), so treten diese Jupitermondfinsternisse sehr häufig ein. Mit einem mäßig guten Fernrohre lassen sie sich von der Erde aus recht wohl beobachten. Da sich der Mond sehr gleichmäßig bewegt, so müssen diese Verfinsterungen in ganz gleichen Zeitabschnitten sich wiederholen; von der Erde aus gesehen scheinen aber die Zeiträume von einer Verfinsterung zur anderen zu gewissen Zeiten kleiner, zu anderen größer zu sein.

Die Erde bewegt sich wesentlich geschwinder, als der Jupiter; in Fig. 238 soll a b den Weg vorstellen, welchen die Erde durchläuft, während der Jupiter von a_1 nach b_1 kommt. Es ist leicht einzusehen, daß sich die Erde dabei dem Jupiter nähert. Während die Erde nach c gelangt, ist der Jupiter bis c_1 vorgerückt und während die Erde das Stück c d zurücklegt, bewegt er sich von c_1 bis d_1, es wird sich also jetzt die Erde von ihm entfernen.

Wenn sich die Erde in a, der Jupiter in a_1 befindet, beträgt ihre Entfernung 102 250 000 Meilen, zum Durchlaufen dieser Strecke braucht das Licht $\frac{102\,250\,000}{40\,600} = 2518{,}5$ Secunden $= 41$ Minuten 58,5 Secunden. Tritt bei dieser Stellung der beiden Himmelskörper eine Jupitermondfinsterniß

um 3 Uhr Morgens ein, so verschwindet der Mond für uns nicht zu derselben Zeit, sondern erst 3 Uhr 41 Min. 58,5 Sec., weil der letzte von ihm ausgehende Lichtstrahl 41 Min. 58,5 Sec. braucht, um bis zur Erde zu gelangen. Die nächste Finsterniß tritt 42 Stunden 28 Min. 36 Sec. später, also den Tag danach 9 Uhr 28 Min. 36 Sec. Abends ein; bis dahin hat sich die Erde dem Jupiter um 560 000 Meilen genähert, sie ist nur noch 101 690 000 Meilen von ihm entfernt; der letzte Lichtstrahl des Mondes braucht also nicht mehr 41 Min. 58,5 Sec., sondern nur $\frac{101\,690\,000}{40\,600}$ = 2504,7 Secunden = 41 Min. 44,7 Sec., um bis zu uns zu gelangen; wir erblicken den Eintritt der Verfinsterung um 10 Uhr 10 Min. 20,7 Sec.

Von dem Augenblick an, wo wir die erste Verfinsterung gesehen haben, von 3 Uhr 41 Min. 58,5 Sec. Morgens bis zur Beobachtung der zweiten Finsterniß, den Tag danach um 10 Uhr 10 Min. 20,7 Sec. Abends sind 42 Stunden 28 Min. 22,2 Sec. verflossen, während in Wirklichkeit vom Eintritt einer Finsterniß bis zum Eintritt der nächsten 42 Stunden 28 Min. 36 Secunden verfließen; für einen Beobachter auf der Erde, welcher sich mit der Erde dem Jupiter nähert, scheinen also die Finsternisse schneller aufeinander zu folgen, als es in Wirklichkeit geschieht. Befindet sich aber der Jupiter in c_1, die Erde in c, so daß sie sich von ihm entfernt, so hat von einer Finsterniß zur andern das Licht einen immer längeren Weg zu durchlaufen, bis es an die Erde gelangt, die Verfinsterungen erscheinen dann verlangsamt, es vergehen von einer bis zur nächsten 42 Stunden 28 Min. 39,8 Sec.

So, wie wir aus der Geschwindigkeit des Lichtes haben berechnen können, um wieviel diese Jupitermondfinsternisse beschleunigt oder verzögert erscheinen müssen, so hat man umgekehrt vermocht, aus den beobachteten Zeiten der Finsternisse die Geschwindigkeit des Lichtes zu berechnen.[40]

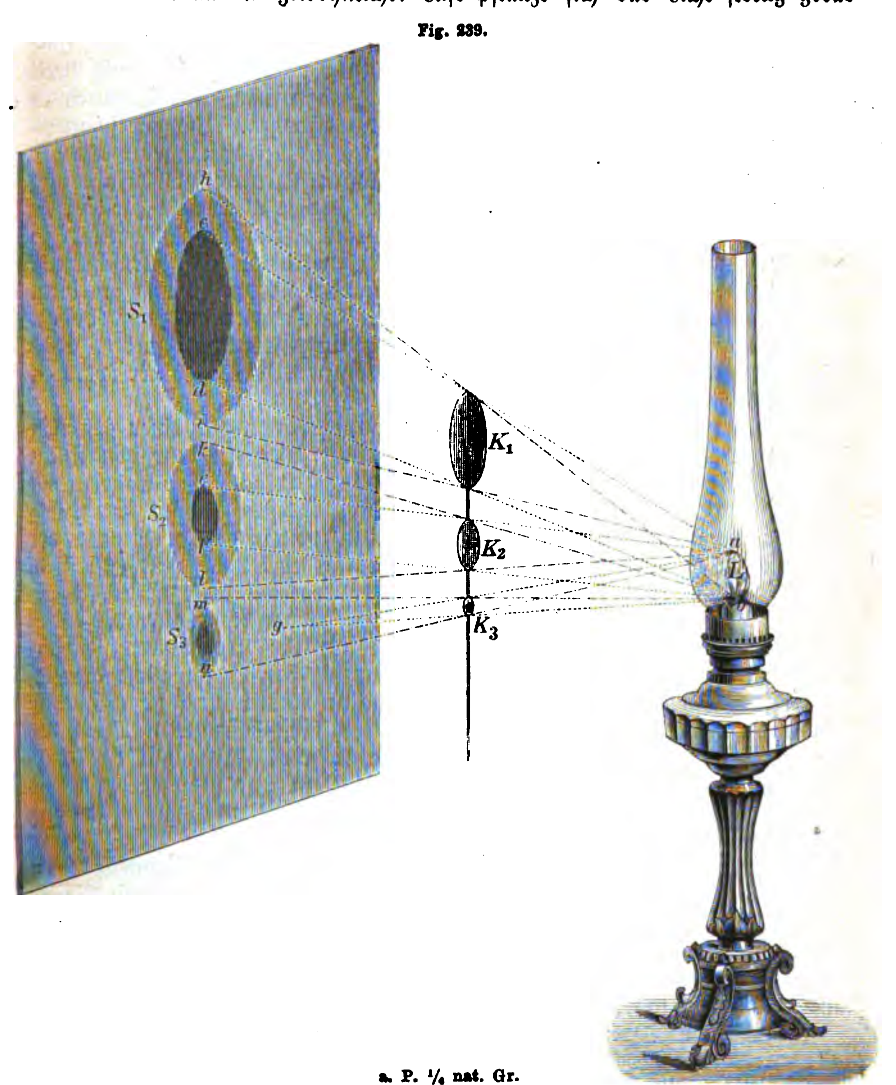
Die Luft und die übrigen Gase, mit Ausnahme der wenigen, welche farbig sind, lassen das Licht ungehindert durch sich hindurchgehen, wenn sie nicht durch Staub oder Nebel getrübt sind. Ist die Luft sehr rein, wie es besonders im Hochgebirge vorkommt, so kann das Licht meilenlange Strecken durchlaufen, ohne merklich geschwächt zu werden. Von den tropfbaren Körpern ist die größere Zahl durchsichtig, aber meist nicht in so vollkommenem Grade, wie die Gase; die meisten Flüssigkeiten, selbst ganz klare, wie das reine Wasser, erscheinen gefärbt, wenn man durch dickere Schichten derselben hindurchsieht; eine 2^m dicke Schicht ganz reinen Wassers erscheint beim Durchsehen schön blau. Unter den starren Körpern ist nur eine verhältnißmäßig geringe Zahl in ziemlichem Grade durchsichtig (Steinsalz, Bergkrystall, Demant und andere krystallisirte Mineralien, Glas u. s. w.); eine Anzahl andere sind durchscheinend, d. h. sie lassen etwas Licht durchdringen, aber nicht ungestört in gerader Richtung; durch solche Stoffe (Papier, Milchglas, Gewebe u. s. w.) kann man dahinter befindliche Gegenstände gar nicht oder nur undeutlich erkennen. Die meisten starren Körper lassen, wenn sie einigermaßen dick sind, gar kein Licht durch, sie sind vollkommen undurchsichtig.

In einem Raume, der ausschließlich oder vorwiegend von einer Stelle aus erhellt wird, entsteht hinter jedem undurchsichtigen Körper ein dunkler

[40] Die früher gewöhnlich angegebene Geschwindigkeit von 42000 M. ist etwas zu groß; bei ihrer Berechnung waren die Entfernungen der Himmelskörper von einander etwas größer angenommen worden, als sie wirklich sind.

Raum, der Schatten. Die Gestalt, welche der Schatten in verschiedenen Fällen annimmt, richtet sich nach der Form und der Größe des schattenwerfenden und des leuchtenden Körpers und nach dem Abstande beider. Im leeren Raume und in gewöhnlicher Luft pflanzt sich das Licht streng gerad-

Fig. 239.



a. P. 1/4 nat. Gr.

linig fort; aus dieser geradlinigen Fortpflanzung läßt sich die Form des Schattens in jedem Falle ableiten.

In Fig. 239 sei L die Flamme eines Petroleumschlitzbrenners; K_1 K_2 und K_3 seien die schattenwerfenden Körper (drei auf eine Stricknadel gesteckte Pappscheiben); S_1, S_2 und S_3 seien die Schatten, welche auf einem weißen, viereckigen Schirme aufgefangen werden.

Ein von dem obersten Punkte a der Flamme aus an dem obersten Punkte des Körpers K_2 vorbeigehender Strahl gelangt nach e, ein von dem untersten Punkte der Flamme am untersten Punkte von K_2 vorbeigehender Strahl nach f; in den Raum zwischen e und f gelangt von der Lampe aus gar kein Licht; diesen gar nicht erhellten Raum nennt man den Kernschatten des Körpers K_2. Hat, wie es hier der Fall ist, der schattenwerfende Körper gleiche Größe mit der Lichtquelle, so ist der Kernschatten ebenso breit und hoch, als der schattenwerfende Körper, man mag den Schatten in größerer oder kleinerer Entfernung von diesem auffangen. Ist der schattenwerfende Körper größer, als die Lichtquelle, wie es bei dem Körper K_1 der Fall ist, so wird der Kernschatten (eingeschlossen durch die Linien a c und b d) mit zunehmender Entfernung vom Körper immer höher und breiter; ist dagegen der schattenwerfende Körper (K_3) kleiner, als die Lichtquelle, so nimmt der Durchmesser des (durch a g und b g eingeschlossenen) Kernschattens mit zunehmender Entfernung vom schattenwerfenden Körper ab und in einem gewissen Abstande von diesem Körper hört der Kernschatten ganz auf (bei g).

Ein Auge, welches sich im Kernschatten eines Körpers befindet, sieht natürlich nichts von der Lichtquelle, der schattenwerfende Körper verdeckt dieselbe vollkommen.

Rund um den Kernschatten befindet sich ein Raum von einer gewissen Breite, welcher nicht völlig verdunkelt ist, welcher aber auch nur von einem Theile der Lichtquelle Strahlen erhält, der Halbschatten. Die Begrenzung des Halbschattens findet man, wenn man vom obersten Punkte der Lichtquelle am untersten Punkte des Körpers vorbei, vom untersten Punkte der Lichtquelle am obersten Punkte des Körpers vorbei eine Linie zieht (a i, b h, a l, b k, a n, b m) u. s. f. immer Linien von dem auf einer Seite liegenden Rande der Lichtquelle am gegenüberliegenden Rande des schattenwerfenden Körpers vorbei. Der Halbschatten ist nicht, wie der Kernschatten, gleichmäßig dunkel; am inneren Rande ist er so dunkel, daß er sich nicht deutlich vom Kernschatten abhebt und nach dem äußeren Rande wird er allmählig heller und heller, bis er unmerklich in den gar nicht beschatteten Theil des Raumes übergeht. Der Halbschatten nimmt in allen Fällen mit der Entfernung vom schattenwerfenden Körper an Breite zu und geht eigentlich bis in's Unendliche fort, er wird aber in größerer Entfernung auch allmählig immer schwächer, bis er schließlich fast unmerklich ist.

Ein im Halbschatten befindliches Auge erblickt von der Lichtquelle einen Theil, und zwar einen um so größeren, je näher es dem äußeren Rande desselben ist. Befindet sich das Auge in gerader Richtung hinter dem Ende des Kernschattens eines Körpers, welcher kleiner ist, als die Lichtquelle, so verdeckt ihm der Körper den mittelsten Theil der Lichtquelle, während der Rand rundherum sichtbar ist.

Als Lichtquelle eignet sich zu diesen Versuchen jede Flamme, am besten aber die eines Petroleumschlitzbrenners, weil sie hell leuchtet und bei mäßiger Höhe ziemlich breit ist. Als schattenwerfende Körper dienen runde Pappstückchen, die man übereinander an einer dünnen Stricknadel aufspießt. Das mittelste der drei Stücke soll so groß sein, wie die Flamme, das obere etwa doppelt, das untere knapp halb so groß. Die Nadel klemmt man in einen Retortenhalter fest; zum Auffangen der Schatten dient allenfalls jede Wand, an die man einen Tisch gerückt hat, um die Lampe und den Halter aufstellen zu können; besser ist es, einen besonderen, beweglichen Schirm zu haben, der auch für andere optische Versuche zu brauchen ist. Man läßt sich vom Tischler einen 4 bis 6^{decim} breiten und hohen Rahmen aus 2^{cm} breiten,

6 bis 8^{mm} dicken Leistchen machen und bespannt ihn mit Papier. Stellt man die Versuche für sich allein an, so überzieht man den Rahmen mit Schreibpapier; will man sie einer Anzahl von Personen zugleich zeigen, so nimmt man besser sogenanntes Seidenpapier; dieses ist mäßig durchscheinend und läßt die Schatten (und andere optische Bilder) auf der Vorderseite und auf der Rückseite gleich gut erkennen. Das Schreibpapier benetzt man vor dem Aufkleben mit einem reinen, feuchten Schwamm oder Tuch; dann bestreicht man den Rahmen mit Leim, drückt ihn auf das glatt auf dem Tische liegende Papier, hebt ihn mit diesem zusammen auf, wendet ihn um und drückt das Papier überall gut an; beim Trocknen zieht es sich von selbst glatt und straff. Seidenpapier kann man nicht befeuchten, weil es sogleich so aufweicht, daß es zerreißt; es verträgt kaum die Anwendung von Leim oder Gummi beim Kleben. Um Seidenpapier aufzuziehen, bestreicht man besser den Rahmen ganz dünn mit Canadabalsam und verfährt übrigens wie beim Aufleimen des Schreibpapiers; nur muß man das trockene Seidenpapier mit den Fingern vorsichtig straff ziehen, damit es möglichst faltenfrei wird; ist der Canadabalsam sehr dünnflüssig, so muß man ihn nach dem Aufstreichen etwas eintrocknen lassen, weil er sonst das Papier nicht gleich festhält. Die von Canadabalsam beschmuzten Finger reinigt man am leichtesten mit etwas Terpentinöl.

Den Rahmen kann man beim jedesmaligen Gebrauche in einen Retortenhalter klemmen; bequem ist es, wenn er unten mit einem 1,5 bis 2^{cm} dicken, 10 bis 20^{cm} langen Stiehl versehen ist, den man entweder auch in den Halter einspannt oder mit etwas Papier umwickelt wie eine Kerze in einen Leuchter steckt.

Um sich zu überzeugen, daß ein im Kernschatten befindliches Auge nichts, ein im Halbschatten befindliches einen Theil von der Lichtquelle sieht, sticht man mit einer dicken Nadel an den passenden Stellen Löcher in den Schirm und bringt das Auge hinter diese Löcher.

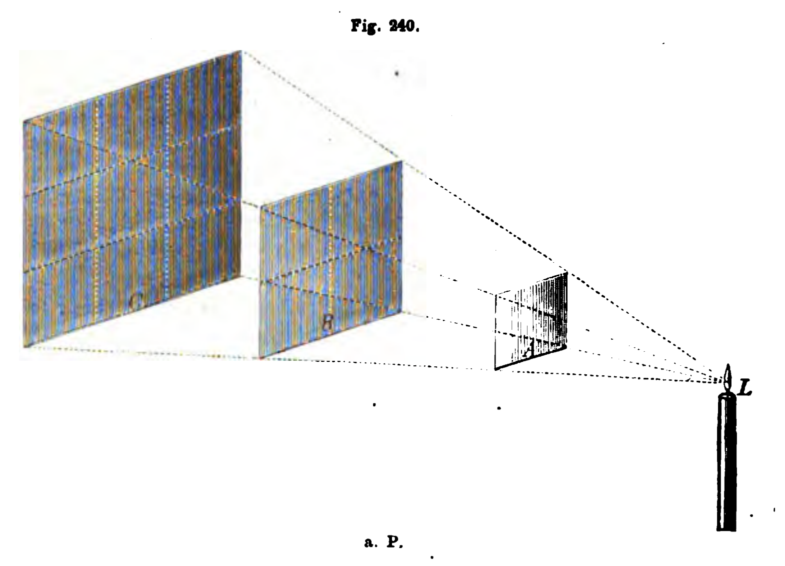
Steht der auffangende Schirm dicht hinter dem schattenwerfenden Körper, so ist der Kernschatten ziemlich genau gleich groß mit diesem Körper und der Halbschatten bildet nur einen ganz feinen Rand; dann giebt der Schatten ein treues Abbild vom Umrisse des Körpers. Je kleiner die Lichtquelle ist, um so schmaler wird der Halbschatten, um so schärfer also die Begrenzung des Schattenbildes.

Erde und Mond, welche beide viel kleiner sind, als die Sonne, welche sie beleuchtet, werfen einen Kernschatten, der mit zunehmender Entfernung immer schmaler wird und in einer bestimmten Entfernung ganz aufhört. Beim Monde ist die Länge des Kernschattens etwa 50 000 Meilen, also ohngefähr so groß, wie der Abstand des Mondes von der Erde. Kommt der Mond bei seinem Kreislauf um die Erde genau in die gerade Richtung von dieser nach der Sonne, so fällt sein Schatten auf die Erde und bewirkt da eine Sonnenfinsterniß. Die Entfernung des Mondes von der Erde ist etwas veränderlich; befindet sich der Mond zur Zeit der Sonnenfinsterniß in der Erdnähe, so kann die äußerste Spitze seines Kernschattens die Erde erreichen und einen kleinen Theil derselben ganz verdunkeln, die im Kernschatten liegenden Theile der Erdoberfläche haben dann eine totale, die im Halbschatten liegenden eine partiale Sonnenfinsterniß. Steht der Mond zur Zeit der Sonnenfinsterniß in der Erdferne, so reicht sein Kernschatten nicht ganz bis auf die Erde; der Theil der Erdoberfläche, der gerade hinter der Spitze des Kernschattens liegt, hat dann eine ringförmige Sonnenfinsterniß. Bei den meisten Sonnenfinsternissen kommt der Mond nicht genau in die Richtung zwischen Sonne und Erde zu stehen, so daß nur ein Theil des Halbschattens auf die Erde fällt; die meisten Sonnenfinsternisse sind nur partiale.

Kommt der Mond in den Kernschatten der Erde, so entsteht eine Mondfinsterniß und zwar eine totale oder partiale; je nachdem er ganz oder nur zum Theil in den Kernschatten eintritt. Während der Kernschatten des Mondes auf der Erde nur eine ganz geringe Breite hat und nur ein ganz kleines Stück der Erdoberfläche bedecken kann, hat der Kernschatten der größeren Erde noch in der Entfernung, in der sich der Mond befindet, einen etwa 3 mal so großen Durchmesser und kann also den Mond leicht ganz bedecken. Geräth der Mond nur in den Halbschatten der Erde, so findet zwar eine Abnahme seiner Helligkeit statt, die aber gewöhnlich nicht bemerkt wird.

Je weiter eine Fläche von einer Lichtquelle entfernt ist, um so weniger stark wird sie von dieser erleuchtet. Man ersieht leicht, daß dieselbe Lichtmenge, welche von L aus auf die in der Entfernung L A Fig. 240 befindliche

Fig. 240.



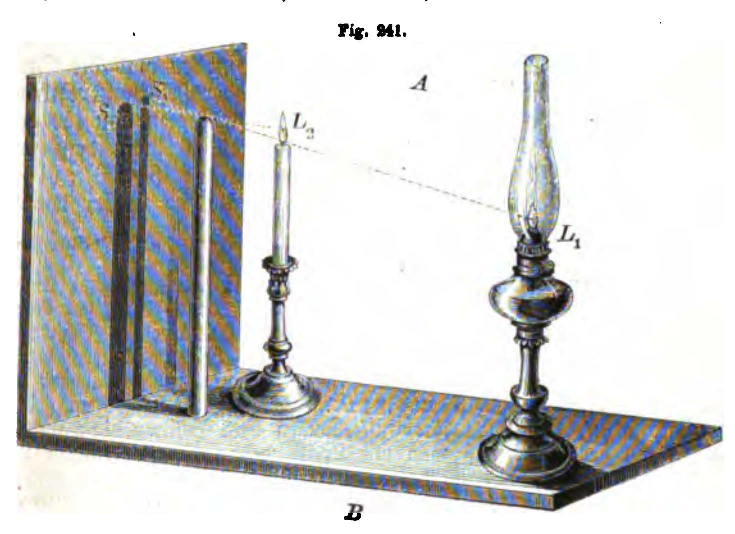
a. P.

Fläche A fällt, in der Entfernung L B die größere Fläche B und in der Entfernung L C sogar die Fläche C zu erleuchten haben würde. L B ist doppelt so groß, als L A, die Fläche B viermal so groß, als die Fläche A. Da die viermal so große Fläche B nur ebenso viel Licht erhält, als die Fläche A, so wird sie nur ein Viertel so stark erleuchtet werden, als diese; die neunmal so große Fläche C wird nur ein Neuntel so stark erleuchtet. In der Entfernung 2 ist also die Stärke der Erleuchtung $1/4$, in der Entfernung 3 ist sie $1/9$, in der Entfernung 4 würde sie $1/16$ von der in der Entfernung 1 sein; die Stärke der Erleuchtung nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle (1, 4, 9, 16) zunimmt; mit anderen Worten: sie ist dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional.

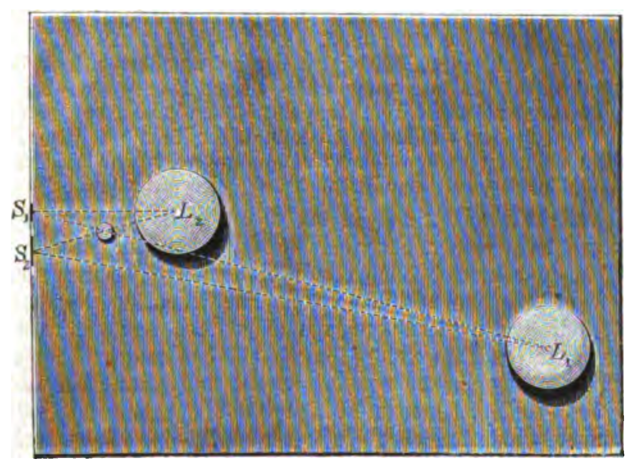
Soll eine Lichtquelle eine entferntere Fläche ebenso stark erleuchten, wie eine andere Lichtquelle eine nähere Fläche, so muß die erstere natürlich eine entsprechend größere Leuchtkraft haben, als die letztere. Da eine gleich starke Lichtquelle in doppelter oder dreifacher Entfernung nur $1/4$ oder $1/9$ so

stark erhellt, so muß eine Lichtquelle, die in doppelter oder dreifacher Entfernung gleich stark erhellt, 4 oder 9 mal so stark sein, als die in der Entfernung 1 befindliche: wenn zwei Lichtquellen gleich starke Erleuchtung einer verschieden weit entfernten Fläche hervorbringen, so verhalten sich ihre Leuchtkräfte wie die Quadrate ihrer Entfernungen von der beleuchteten Fläche.

Fig. 241.



B



A B a. P. 1/8 nat. Gr.

Diesen Satz wendet man an bei der Photometrie, d. i. bei der Messung der Leuchtkräfte verschiedener Lichtquellen. Die dazu dienenden Vorrichtungen (Photometer) sind von verschiedener Einrichtung.

Das Rumford'sche Photometer, Fig. 241 A, ist ein in der Nähe eines senkrechten Schirmes oder einer Wand aufgestellter, senkrechter Stab, vor dem die beiden zu vergleichenden Lichtquellen (L_1 und L_2) so aufgestellt

werden, daß sie 2 Schatten (S_1 und S_2) dicht nebeneinander auf die senkrechte Fläche werfen. Die Entfernungen der Lichtquellen von dieser Fläche verändert man solange, bis die beiden Schatten gleich dunkel erscheinen. Der unbeschattete Theil der Fläche wird von beiden Lichtquellen beleuchtet; der Schatten (S_1), den die eine Lichtquelle (L_1) wirft, wird nur von der anderen (L_2) beleuchtet und umgekehrt; sind beide Schatten gleich stark, so sind also die beiden beschatteten Theile der Fläche von den einzelnen Lichtquellen gleich stark erleuchtet, man braucht nun nur die beiden Abstände der Lichtquellen von den entsprechenden Schatten zu messen und die Quadrate der beiden Zahlen zu bilden, um das Verhältniß der beiden Leuchtkräfte zu erhalten. Beträgt die Entfernung der Lampe L_1 von dem von ihr erleuchteten Schatten S_2 56^{cm}, die Entfernung der Kerze L_2 von dem anderen Schatten S_1 16^{cm}, so ist das Verhältniß der Leuchtkräfte $(56 \cdot 56) : (16 \cdot 16) = 3136 : 256$. Die Leuchtkraft der Lampe verhält sich zu der der Kerze, wie 3136 zu 256, sie ist mit anderen Worten $\frac{3136}{256} = 12{,}25$ mal so stark.

Als Schirm kann wieder ein durchscheinender oder undurchsichtiger dienen; als senkrechten Stab benutzt man den Stab eines Retortenhalters. Man hat darauf zu achten, daß die Strahlen beider Lichtquellen nahezu senkrecht auf den Schirm fallen. Fig. 241 B zeigt die Aufstellung im Grundriß. In beiden Figuren sollen die Linien L_1 S_1 und L_2 S_2 nur dienen, den Ort der Schatten zu bestimmen; die zu messenden Entfernungen sind L_1 S_2 und L_2 S_1. Solange die Lampe und die Kerze an ihrem Orte stehen, kann man ihre Entfernungen vom Schirme nicht gut messen; man verfährt am besten so, daß man mit Kreide den gewöhnlich runden Umfang des Lampen- oder Leuchterfußes auf dem Tische aufzeichnet und nach der Entfernung der Lampe und des Leuchters die Entfernungen vom Mittelpunkte der zwei Kreise bis zu dem Schirme mißt. Bei der wirklichen Ausführung des Versuches macht man die Entfernungen der Lichtquellen von der Wand zweckmäßigerweise beträchtlich größer, als beim obigen Beispiel angenommen ist.

Eine nicht zu beseitigende Schwierigkeit liegt bei den Photometermessungen darin, daß verschiedene Lichtquellen nie genau gleich weißes Licht geben; das Licht einer Kerze ist immer etwas röthlicher, als das einer Petroleumlampe; deshalb erscheint der Schatten (S_1), welchen die Lampe wirft, d. i. der Theil der Fläche, welcher von der Kerze allein beleuchtet wird, röthlicher als der andere. Diese verschiedene Färbung der Schatten läßt nicht ganz genau erkennen, ob beide gleich hell beleuchtet sind.

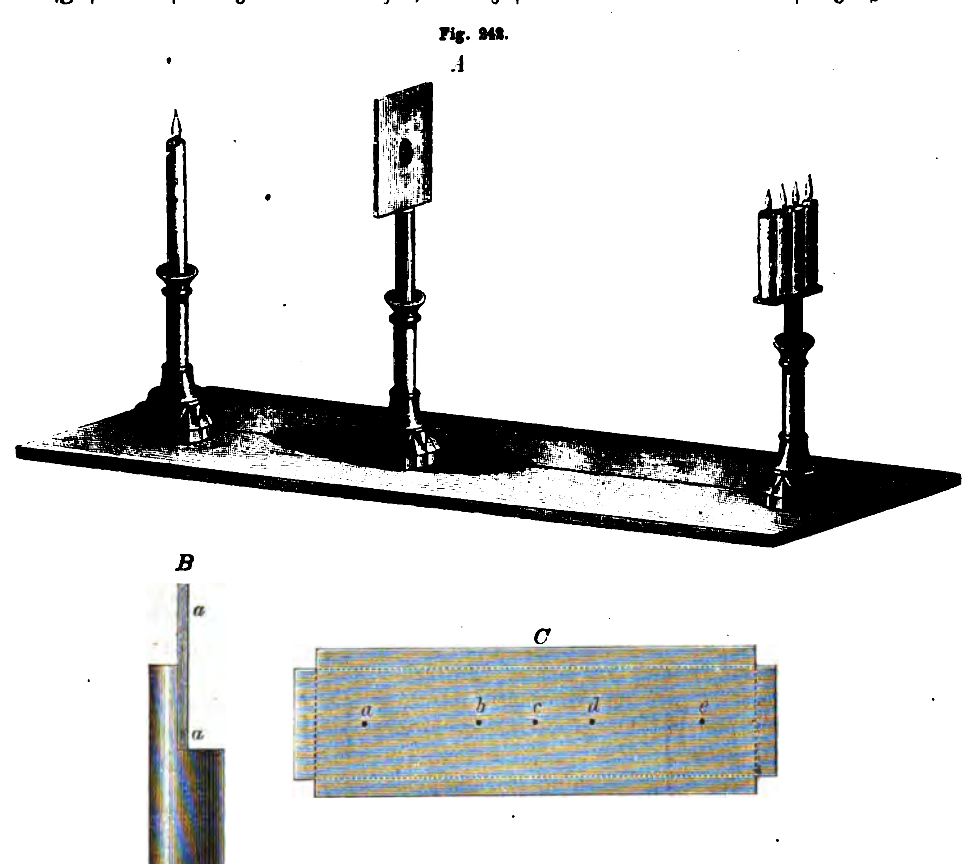
Hält man ein Papier, das in der Mitte einen schwachen Fettfleck hat, bei Tage gegen das Fenster oder bei Abend gegen eine Lampe, so daß es von der Rückseite stärker beleuchtet ist, als von der, von welcher man es betrachtet, so erscheint der Fettfleck heller, als seine Umgebung; der fettige Theil des Papiers läßt einen größeren Theil des auf die vom Beschauer abgewendete Seite fallenden Lichtes durch, als das ungefettete Papier. Betrachtet man aber das Papier von der Seite, auf welche das Licht auffällt, so erscheint der Fettfleck dunkler, als das Uebrige; das ungefettete Papier, welches weniger Licht durchläßt, als der Fettfleck, wirft natürlich einen größeren Theil zurück. Hält man das Papier so, daß es dem Fenster oder der Lampe ohngefähr die scharfe Kante zukehrt und wendet es dann etwas hin und her, so findet man eine Stellung, bei welcher der Fettfleck fast ganz unsichtbar wird; das ist dann der Fall, wenn beide Seiten des Papieres gleich stark erleuchtet sind.

Ein solcher, mit einem Fettfleck versehener Papierschirm wird bei dem Bunsen'schen Photometer (Fig. 242) in gerader Linie zwischen den zu vergleichenden Lichtquellen angebracht. Man verschiebt ihn so lange hin und

her, bis der Fettfleck unsichtbar wird; dann hat man nur, wie beim Rumford'schen Photometer, die Entfernungen der beiden Lichtquellen vom beleuchteten Schirme zu messen und die Quadrate dieser Entfernungen zu bilden, um das Verhältniß der Leuchtkräfte beider Lichtquellen zu finden.

Das Bunsen'sche Photometer ist recht gut geeignet, die Richtigkeit des Satzes nachzuweisen, daß sich die Leuchtkräfte zweier Lichtquellen verhalten, wie die Quadrate ihrer Entfernungen von der gleich stark beleuchteten Fläche. Als Lichtquellen benutzt man einerseits eine einzelne Kerze, andererseits eine Zusammenstellung von 4 Kerzen, die zusammen eine vier mal so große

Fig. 242.



A a. P. 1/6 nat. Gr. B C 1/2 nat. Gr.

Leuchtkraft besitzen, als die einzelne; man findet dann, daß der Fettfleck verschwindet, wenn die vier Kerzen doppelt so weit vom Schirme abstehen, wie die eine. In Fig. 242 sind die Abstände 25^{cm} und 50^{cm}, die Quadrate davon sind 625 und 2500; nun ist $2500 : 625 = 4 : 1$ oder $\frac{2500}{625} = 4$.

Der Fettfleck wird mit Stearin gemacht; Talg oder Oel machen das Papier gelblich und schmierig, so daß es bald durch anhaftenden Staub verschmuzt. Soll er bei gleicher Beleuchtung wirklich fast unsichtbar werden, so darf er nur ganz

schwach sein. Läßt man einen oder einige Tropfen Stearin von einer brennenden Kerze auf das Papier fallen und entfernt nach dem Erstarren das, was nicht in's Papier eingedrungen ist, durch vorsichtiges Abkratzen mit dem Messer, so erhält man zunächst einen zu starken Fleck; man legt nun auf und unter das Papier eine doppelte Lage Fließpapier und setzt kurze Zeit ein heißes Plätteisen darauf; dadurch wird das eingedrungene Stearin wieder flüssig und saugt sich zum Theil in das Fließpapier hinein. Durch Probiren findet man bald, wie lange man das Plätteisen aufsetzen muß, um einen Fleck zu erhalten, der nicht zu stark ist, um bei gleicher Beleuchtung fast zu verschwinden und nicht zu schwach, um bei ungleicher Beleuchtung deutlich sichtbar zu sein. Das Papier leimt man nach der Herstellung des Fleckes auf einen kleinen Rahmen, den man vom Tischler aus Holz machen und mit einem kleinen Stiele versehen läßt oder den man nöthigenfalls nur aus Pappe schneidet und auf einen geschnitzten Holzstiel aufleimt. Den Stiel macht man so dick, daß er sich bequem in einen Leuchter stecken läßt und beachtet, daß die mit dem Papier zu beklebende Seite des Rahmens (a a Fig. 242 B) gerade über der Mitte des Stieles liegen muß. Auf einem langen Tische zieht man eine gerade Linie mit Kreide, auf diese setzt man an die Enden die zu vergleichenden Lichtquellen und verschiebt auf ihr den Schirm; die Entfernungen mißt man auch hier am bequemsten, indem man den Umfang der drei Füße mit Kreide umfährt und dann dieselben beiseite setzt.

Zur Aufstellung der vier Kerzen für den in Fig. 242 A dargestellten Versuch richtet man zweckmäßig eine Art vierfachen Lichtknecht her. Ein Stückchen Zinkblech, 4^{cm} breit und 13^{cm} lang wird an den vier Ecken mit quadratischen Ausschnitten von 5^{mm} Seite versehen, an 5 Punkten durchlöchert, wie Fig. 242 C andeutet und schließlich am Rande 5^{mm} breit aufgebogen, so daß es ein flaches Kästchen bildet. Durch die vier Löcher a, b, d und e steckt man vier 1,5 bis 2^{cm},0 lange Drahtstifte mit flachen Köpfen und löthet diese fest, indem man jeden mit einem Tropfen Löthwasser befeuchtet, je ein Stückchen Schnellloth dicht daneben legt und das Ganze über der Gas- oder Weingeistflamme erwärmt, bis das Loth zwischen den Stiftkopf und das Blech hineingeflossen ist. Durch das Loch c schlägt man einen Drahtstift in umgekehrter Richtung, wie die anderen vier, hindurch, mit dem man das Ganze auf einen Holzstiel befestigt; die nach oben gerichteten Drathspitzen dienen, um vier Stückchen Kerze darauf zu stecken, der aufgebogene Rand schützt vor dem Herunterlaufen des Stearins.

Soll der Versuch einigermaßen richtige Resultate geben, so muß man darauf achten, daß die fünf Kerzenflammen möglichst genau gleich groß sind, was durch sorgfältiges Beschneiden des Dochtes schon zu erreichen ist. Ein wie eine große Haarnadel gebogenes Drahtstück handhabt man wie einen Zirkel, um die Höhe der Flammen zu messen.

39. Zurückwerfung des Lichtes, Spiegel. Die Oberflächen der starren und tropfbaren Körper werfen Lichtstrahlen, welche auf sie fallen, zurück; nur dadurch wird uns die große Mehrzahl der Körper, welche nicht selbstleuchtend ist, sichtbar. Die Zurückwerfung (Reflexion) findet je nach der Beschaffenheit der Oberflächen in sehr verschiedenem Grade statt. Hält man bei Abend ein flach aufgeschlagenes Buch mit dem Einband nach einer brennenden Lampe gewendet und etwas tiefer als die Flamme senkrecht vor sich, so befindet sich die Schrift der aufgeschlagenen Seiten so im Schatten, daß man kaum im Stande ist, etwas davon zu lesen; bringt man dann etwas weiter von der Lampe entfernt und etwas höher als das Buch, aber noch etwas tiefer, als die Flamme einen flachen, hellgefärbten Körper an, etwa ein Stück Papier, so wird die Schrift, wenigstens am oberen Theile des Buches genügend erhellt, um bequem gelesen zu werden. Selbst das Hinhalten der Hand anstatt des Papieres genügt, um eine merkliche Helligkeit hervorzubringen. Nimmt man anstatt des Papiers einen kleinen viereckigen Spiegel, so wird auch ein Theil des Buches erhellt, und zwar noch besser, als durch das Papier; dieser erhellte Theil aber ist scharf abgegrenzt

gegen den übrigen, dunkeln Theil. Eine gut polirte Fläche (Spiegelfläche) wirft das auf sie fallende Licht in einer ganz bestimmten Richtung zurück, während rauhe (matte) Flächen das Licht nach allen möglichen Richtungen hin zurückwerfen.

Die gebogene Wand des flachen, halbkreisförmigen Kastens Fig. 243 ist in 18 gleiche Theile, also von 10 zu 10 Grad getheilt, der mittelste Theilpunkt ist mit 0 bezeichnet, die anderen nach beiden Seiten hin mit 10, 20 u. s. f. bis 90. Von 0° aus sind auf einer Seite von 10 zu 10° Löcher angebracht; dem Loch bei 0° gerade gegenüber befindet sich an der geraden Wand ein kleiner Spiegel s, der so gerichtet ist, daß man, wenn man durch dieses Loch sieht, das Spiegelbild des Loches gerade in der Mitte des Spiegels erblickt, was dann der Fall ist, wenn die Linie von dem Loch nach dem Spiegel auf diesem genau rechtwinkelig steht.

Sieht man durch das bei 10° angebrachte Loch, so erblickt man in der Mitte des Spiegels den Theilstrich, der nach der anderen Seite um 10° von 0 absteht; sieht man durch das Loch bei 20°, so erblickt man den Theilstrich von 20° u. s. f.; der Spiegel wirft nach einem Punkte, welcher um eine Anzahl Grade von 0 absteht, immer die Lichtstrahlen, welche von einem Punkte kommen, der nach der anderen Seite hin um ebenso viel Grade von 0 absteht.

Fig. 243.



a. P. 1/6 nat. Gr.

Noch hübscher läßt sich das Gesetz der Strahlenzurückwerfung in einem dunklen Zimmer (bei Abend) veranschaulichen; bringt man anstatt des Auges die Flamme einer Kerze ziemlich nahe an eines der Löcher, so wird das durch das Loch auf den Spiegel fallende Licht der Kerze so zurückgeworfen, daß es auf der anderen Seite des Halbkreises den entsprechenden Theilstrich und die dabei stehende Ziffer beleuchtet.

Eine Linie, welche rechtwinkelig auf einer Spiegelfläche in dem Punkte steht, den ein Lichtstrahl trifft, heißt das **Einfallsloth** dieses Lichtstrahles; für Strahlen, welche die Mitte unseres Spiegels treffen, ist die Linie von 0 nach der Spiegelmitte das Einfallsloth. Unsere Versuche zeigen uns, daß der Lichtstrahl immer so zurückgeworfen wird, daß er nach der Reflexion denselben Winkel mit dem Einfallslothe bildet, wie vorher. Die Winkel, welche der auf den Spiegel fallende und der reflectirte Strahl mit dem Einfallsloth bilden, heißen **Einfallswinkel** und **Reflexionswinkel**; das Spiegelungsgesetz läßt sich so aussprechen: **Der Einfallswinkel und der Reflexionswinkel sind einander gleich**; überdies liegen das Einfallsloth, der einfallende und der reflectirte Strahl in einer Ebene.

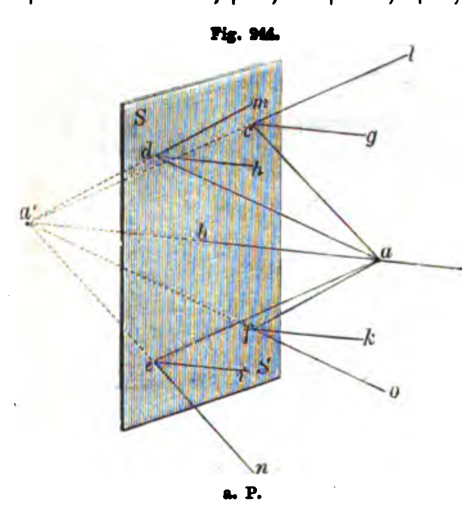
Das Apparat Fig. 243 wird aus einem mit der Säge halbkreisförmig geschnittenem Brette gemacht, das an der geraden Seite einen 4 bis 5^{cm} emporstehenden Rand von Holz, an der gebogenen einen ebenso hohen Rand von Pappe erhält. Der Durchmesser des Halbkreises soll 30 bis 60^{cm} betragen. Der Pappstreif zu dem gebogenen Rande wird zuerst etwas reichlich lang geschnitten, straff angelegt

und vorläufig mit einigen Drahtstiftchen befestigt, die man durch die Pappe sowol in den Umfang des Halbkreises, als auch in die Enden des aufrechten, geraden Holzrandes höchstens bis zur Hälfte ihrer Länge einschlägt. Man zieht nun an der inneren Seite dieses Randes zwei senkrechte Linien mit Bleistift auf dem Pappstreifen, um den Raum abzugrenzen, der in 18 Theile zu theilen ist, nimmt den Streifen wieder ab und schneidet weg, was an seiner Länge zu viel ist; an jedem Ende läßt man außerhalb der Bleistiftlinie noch ein Stückchen stehen, so breit, wie der gerade Holzrand dick ist, um es auf diesem zu befestigen. Der wieder gerade gebogene Streif wird eingetheilt, mit deutlichen Theilstrichen und Ziffern versehen (vergl. S. 55, Z. 20 v. u.), an den gehörigen Stellen mit 1^{cm} weiten Löchern versehen und schließlich mit Leim und Drathstiften dauernd befestigt.

Ein Stückchen Spiegelglas läßt man 2^{cm} breit und 4^{cm} hoch beim Glaser schneiden, es wird in der Mitte des geraden Holzrandes mit Harzkitt befestigt. Diesen Kitt erhält man, wenn man in einem Blechlöffel gleiche Gewichtstheile Colophonium und gelbes Wachs zusammenschmilzt und das Gemisch etwas umrührt. Bei gelindem Erwärmen wird der Kitt so weich, daß er sich mit den Fingern kneten läßt; er darf nur an die Kanten des Spiegelglases angedrückt, nicht auf die belegte Hinterfläche gebracht werden, damit man diese nicht beschädigt. Beim Ankitten sehe man durch das Loch bei o, um dem Spiegel die richtige Stellung zu geben. Am schönsten ist es, wenn in der Holzwand eine Vertiefung ausgearbeitet ist, in die man den Spiegel hineinkittet.

S S in Fig. 244 soll eine Spiegelfläche vorstellen, auf welche von dem Punkte a aus Lichtstrahlen fallen; solche Strahlen sollen angedeutet werden durch die Linien a b, a c, a d, a e und a f. Der Strahl a b steht rechtwinkelig auf dem Spiegel, er ist also sein eigenes Einfallsloth; die Einfallslothe der anderen Strahlen sind c g, d h, e i und f k. Den Strahl a b wirft der Spiegel in sich selbst zurück, die übrigen Strahlen so, daß die Winkel, welche sie vor und nach der Reflexion mit ihren Einfallslothen bilden, einander gleich sind; $a\hat{c}g = g\hat{c}l$, $a\hat{d}h = h\hat{d}m$, $a\hat{e}i = i\hat{e}n$ und $a\hat{f}k = k\hat{f}o$. Die reflectirten Strahlen laufen so auseinander, als ob sie sämmtlich herkämen aus dem Punkte a′, der in der Richtung der verlängerten Linie a b von a rechtwinkelig auf den Spiegel so weit hinter diesem liegt, als sich a davor befindet. Ein Auge, das sich vor dem Spiegel befindet, wird von den zurückgeworfenen Strahlen ganz denselben Eindruck haben, als ob sie wirklich aus a′ kämen, es wird den Punkt a′ wirklich zu sehen glauben: a′ ist ein optisches Bild des Punktes a.

Fig. 244.



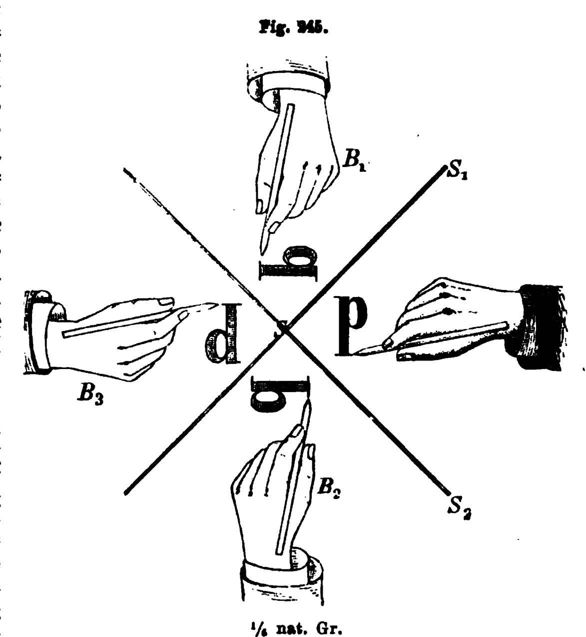
a. P.

Von allen Punkten eines vor einem Spiegel befindlichen Körpers entstehen auf gleiche Weise Bilder und diese einzelnen Punktbilder geben zusammen ein Bild des ganzen Körpers, das diesem an Größe gleich, an Gestalt im höchsten Maße ähnlich ist. Ein Unterschied in der Gestalt eines Spiegelbildes ist wahrzunehmen, wenn der Körper an verschiedenen Seiten

verschieden geformt ist, wie z. B. eine Hand, viele Buchstaben und dergleichen; das Spiegelbild einer rechten Hand sieht aus, wie eine linke, das Spiegelbild eines p wie ein q; das Bild ist gegen den Körper immer in verwendeter Stellung. Wenn sich das Spiegelbild in einem zweiten Spiegel spiegelt, so erscheint das zweite Spiegelbild abermals verwendet, also wieder in übereinstimmender Gestalt mit dem wirklichen Körper. Stellt man zwei ebene Spiegel S S_1 und S S_2 Fig. 245 in senkrechter Stellung so auf, daß sie einen rechten Winkel miteinander bilden und ihre Kanten S sich berühren, so erhält man von Gegenständen, die sich in der Oeffnung des rechten Winkels oder vor dieser befinden in jedem Spiegel zunächst ein Bild (B_1 und B_2), dann aber spiegelt sich jeder Spiegel sammt seinem Spiegelbilde in dem anderen Spiegel, das dabei entstehende dritte und vierte Bild des Gegenstandes fallen aufeinander und erscheinen als ein Bild B_3, welches in seiner Form genau mit den gespiegelten Gegenständen übereinstimmt.

Zwei rechteckige Stücke von möglichst ebenem Spiegelglas — womöglich nicht unter 15^{cm} Länge und 10^{cm} Breite, besser noch größer — erhalten zum Schutze der Belegung auf der Rückseite dünne Papptafeln von genau geschnittener Größe, die rundherum befestigt werden mittelst schwarzen Papiers oder dünnen Bandes, das man mit Leim so aufklebt, daß nur ein möglichst schmales Streifchen der Spiegelfläche verdeckt wird; die Rückseite kann man des besseren Aussehens wegen ganz mit Papier überziehen. An der einen schmalen Seite werden die beiden Spiegel charnierartig vereinigt durch ein Stückchen schwarzes Band, das man so lang schneidet, als die Spiegel breit sind und auf die mit der spiegelnden Fläche genau aufeinandergelegten Spiegel aufleimt. Die so verbundenen Spiegel lassen sich wie ein Buch auf- und zuklappen und unter jedem beliebigen Winkel gegeneinander auf eine wagrechte Fläche stellen.

Fig. 245.



¼ nat. Gr.

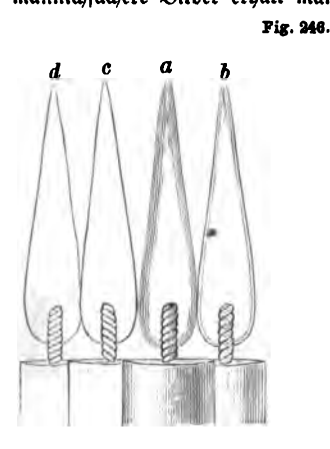
Man stellt sie so auf, daß sie nahezu einen rechten Winkel bilden und blickt durch die Oeffnung dieses Winkels nach der Kante, in welcher sie zusammenstoßen. Man wird zunächst das Bild B_3 nicht ganz richtig erblicken; ein Stück in der Mitte fehlt entweder oder ist doppelt vorhanden. Ist die Stellung der Spiegel nicht sehr unrichtig, so erscheint, wenn man sein Gesicht spiegeln läßt, Nase und Mund im Spiegelbild etwas zu schmal oder zu breit; bei sehr fehlerhafter Stellung erblickt man nur die aneinanderstoßenden Ränder des Gesichtes, dessen mittlerer Theil ganz fehlt, oder ein doppeltes Gesicht; durch weniges Probiren findet man schnell die genau richtige Stellung der Spiegel. Daß das doppelt gespiegelte Bild von einem gewöhnlichen Spiegelbild verschieden ist, erkennt man am leichtesten, wenn man an ein Auge,

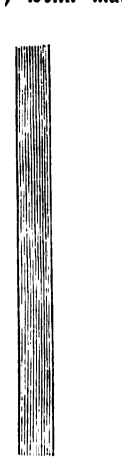
etwa an das rechte, den Finger legt; unser Bild legt dann ebenfalls den Finger an das rechte Auge, ein gewöhnliches Spiegelbild legt ihn an das linke.

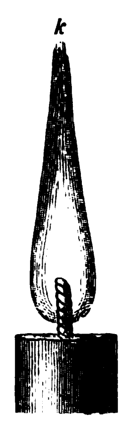
Bilden die Spiegel einen kleineren Winkel, als einen rechten, so erhält man eine größere Anzahl von Bildern; bei einem Winkel von 60° erscheinen durch dreifache Spiegelung 5 Bilder, bei einem Winkel von 45° durch vierfache Spiegelung 7 Bilder, die mit dem gespiegelten Gegenstand zusammen eine regelmäßige sechs- oder achteckige Figur geben. Das gewöhnliche Kaleidoskop ist ein Rohr, in dem der Länge noch zwei schmale Spiegel unter einem Winkel von 60 oder 45° gegeneinander liegen und an dessen einem Ende sich dicht hintereinander zwei Glasplatten befinden, zwischen denen verschiedenartige kleine Körper (bunte Glasstückchen und dergl.) liegen, die man, durch eine am anderen Ende befindliche Oeffnung blickend, zu einem sechs- oder achtstrahligen Stern vervielfältigt sieht.

Hält man, wie das gewöhnlich geschieht, das Kaleidoskop nahezu wagrecht, mit der Oeffnung nach einem Fenster oder einer Lampe gerichtet, so rutschen die Körperchen immer nach dem unteren Rande des kreisförmigen Raumes zwischen den Glasscheiben; mannichfachere Bilder erhält man, wenn man das Kaleidoskop senkrecht nach unten hält und mittelst eines schief in einen Retortenhalter gespannten Spiegels das vom Fenster oder der Lampe kommende Licht von unten in dasselbe wirft.

Fig. 246.







nat. Gr.

Stellt man die beweglich verbundenen Spiegel so auf, daß sie mit ihren äußersten Rändern nur 4 bis 5cm voneinander entfernt sind und bringt zwischen sie ein kurzes, brennendes Stümpfchen einer kleinen Wachskerze, so wird diese so oft gespiegelt, daß die Bilder einen ganzen Kranz von Flammen bilden. Um diesen Kranz übersehen zu können, muß man das Auge sehr nahe an die Oeffnung des von den Spiegeln gebildeten Winkels bringen.

Da ein Spiegel nie alles Licht zurückwirft, so erscheint ein Spiegelbild nie ganz so hell, als der Gegenstand, von dem es herrührt und bei wiederholter Spiegelung werden die Bilder immer lichtschwächer. Beim Kaleidoskop bemerkt man leicht, daß die einzelnen Theile des Sternes ungleich hell sind; der Theil, welcher dem unmittelbar gesehenen Theile gegenüberliegt, ist immer der wenigst helle. Für eine vielfache Spiegelung muß man als Gegenstand eine leuchtende Flamme nehmen, weil nur so die vielfach gespiegelten Bilder lichtstark genug sind, um noch gesehen zu werden.

Die Kerze lasse man nicht länger zwischen den Spiegeln brennen, als nöthig, um die Erscheinung bequem sehen zu können; bei zu lange dauernder Erwärmung durch die Flamme können die Spiegel zerspringen oder durch Mattwerden der Belegung leiden.

Zwischen parallelen Spiegeln würde sich die Spiegelung unendlich oft wiederholen, wenn nicht bei jeder Zurückwerfung ein Theil des Lichts verloren ginge, so daß dieses schließlich bis zum Unmerklichwerden geschwächt wird. Immerhin kann man von einer zwischen zwei Spiegeln brennenden Kerze eine lange Reihe von Bildern erblicken, die vollkommen geradlinig

erscheint, wenn die Spiegel genau parallel sind; sind sie nur im mindesten gegeneinander geneigt, so erscheint die Reihe der Flammenbilder gebogen.

Zwei Stücke Spiegelglas, etwa so groß, wie die zu den Winkelspiegeln benutzten, werden mit Hülfe zweier Retortenhalter senkrecht und parallel in einem Abstande von 15 bis 20^{cm} einander gegenübergestellt und eine brennende Kerze dazwischen gebracht; um ein großes Stück der Bilderreihe überblicken zu können, muß man das Auge dicht an den seitlichen Rand eines Spiegels bringen.

Bei den gewöhnlichen Glasspiegeln findet eigentlich eine doppelte Spiegelung statt, sowol die vordere freie, als auch die hintere belegte Fläche des Glases giebt ein Bild. Das von der metallisch belegten Fläche zurückgeworfene Bild ist meistens viel lichtstärker, als das andere und wird deshalb gewöhnlich allein bemerkt, hält man aber eine brennende Kerze k mäßig nahe vor einen gewöhnlichen Zimmerspiegel (Fig. 246), so erkennt man außer dem von der Belegung reflectirten Bilde a nicht nur das von der vorderen Glasfläche reflectirte Bild b, sondern noch eine Reihe Bilder c, d von abnehmender Helligkeit, die durch wiederholte Hin- und Herwerfung des Lichtes zwischen den beiden Flächen entstehen.

Benutzt man eine unbelegte, durchsichtige Glastafel als Spiegel, so sieht man außer dem scheinbar hinter derselben liegenden Spiegelbilde zugleich auch die wirklich dahinter befindlichen Gegenstände, weil das Glas sowol Licht zurückwirft, als durchläßt. Dabei kann es geschehen, daß man zwei verschiedene Dinge scheinbar an ein und derselben Stelle sieht; ein bei a (Fig. 247) befindliches Auge erblickt das von der Glastafel g g reflectirte Bild der Kerzenflamme f im Inneren der Wasserflasche; Fig. 247 A giebt eine Ansicht, B den Grundriß.

Man kann für diesen Versuch die Glastafel (eine Fenstertafel) mittelst eines Retortenhalters in passender Lage befestigen und eine mit einem viereckigen Ausschnitt versehene Papptafel so aufstellen, daß die Kerze und die Kanten der Glastafel verdeckt sind; dadurch erreicht man eine sehr vollkommene Täuschung, weil man dann die Glastafel gar nicht bemerkt, zumal wenn man den Versuch bei Abend anstellt und sich in der Nähe der Kerze keine anderen Gegenstände befinden, welche von derselben beleuchtet werden und sich mit ihr zugleich spiegeln. Die punktirten Linien b c d e deuten den Umfang der Papptafel, die Linien h i k l den Ausschnitt derselben an.

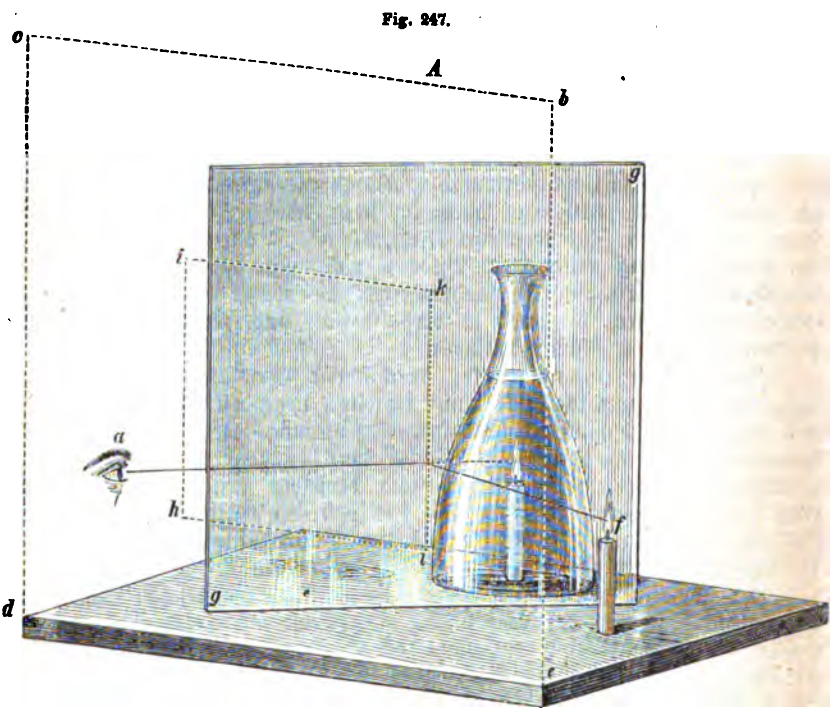
Auf ähnliche Weise werden von Taschenspielern und auf dem Theater Gespenstererscheinungen zuwege gebracht. Eine große Tafel von unbelegtem Spiegelglas ist so aufgestellt, daß ihre Kanten durch irgend welche Decoration verdeckt sind und das Publikum die handelnde Person durch die Glastafel erblickt, diese selbst aber nicht bemerkt. Vor der Tafel befindet sich eine Oeffnung in der Bühne; diese Oeffnung muß ebenfalls durch vorgesetzte Decorationsstücke so versteckt sein, daß sie für das Publikum unsichtbar ist. Die Glastafel ist nicht, wie bei unserem Versuch, seitwärts gewendet, sondern nach vorn über geneigt, so daß das Publikum in ihr das Spiegelbild der unterhalb der Oeffnung in der Bühne befindlichen Gegenstände oder Personen erblickt, wenn diese hell genug beleuchtet sind.

Gekrümmte Spiegel, hohle sowol wie gewölbte, geben im allgemeinen verzerrte Bilder, wie man leicht sieht, wenn man sein eigenes Bild in einer Weinflasche von dunkelem Glase, in einem blanken Metallknopf, in einer Seifenblase oder in einer ähnlichen Fläche betrachtet. Nur schwach und ganz regelmäßig gekrümmte Spiegelflächen, nämlich solche, welche Theile einer Kugeloberfläche bilden (sphärische Spiegel) und nur wenig gewölbt oder

vertieft sind, geben von Gegenständen, welche sich in bestimmter Lage vor ihnen befinden, richtige Bilder.

Die hohlen sphärischen Spiegel werden kurzweg **Hohlspiegel**, **Concav-**

Fig. 247.



a. P. $^1/_8$ nat. Gr.

B

$^1/_{16}$ nat. Gr.

spiegel oder auch **Sammelspiegel** genannt, die gewölbten heißen **Convexspiegel** oder **Zerstreuungsspiegel**. Der Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher ein sphärischer Spiegel angehört (c in Fig. 248), heißt der **Krümmungsmittelpunkt**; die Linien, welche man vom Krümmungsmittelpunkt nach irgend welchen Punkten der Spiegelfläche gezogen denkt (a c, b c, d c, e c), heißen **Krümmungshalbmesser** (**Krümmungsradien**); eine Linie endlich, die vom Krümmungsmittelpunkt nach dem Mittelpunkte des Spiegels geht und die man sich nach beiden Seiten beliebig verlängert denken kann (g h) heißt die Axe des Spiegels.

Da alle Halbmesser einer Kugel auf der Kugelfläche senkrecht stehen, so sind die nach den verschiedenen Punkten eines Hohlspiegels gezogenen Krümmungshalbmesser die Einfallslothe für diese Punkte; Strahlen,

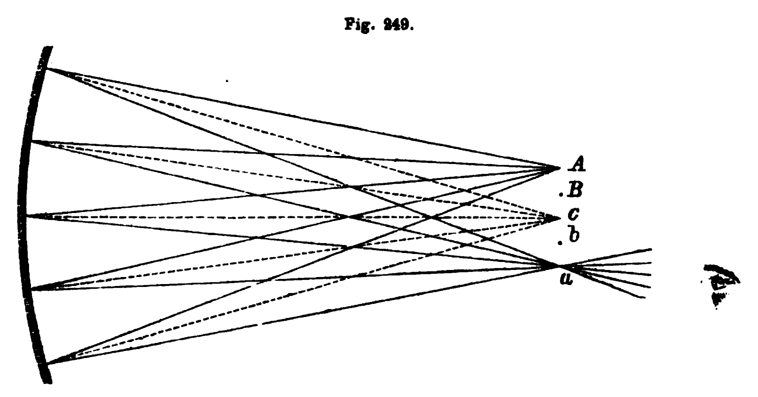
welche vom Krümmungsmittelpunkt her, also in der Richtung der Krümmungshalbmesser auf die Spiegelfläche fallen, werden in sich selbst zurückgeworfen. Alles Licht, welches von einem im Krümmungsmittelpunkt befindlichen, leuchtenden Punkte auf den Spiegel fällt, wird nach diesem Punkte zurückgeworfen.

Befindet sich ein leuchtender Punkt A, Fig. 249, nicht im Krümmungsmittelpunkt selbst, sondern, bei gleicher Entfernung vom Spiegel, etwas oberhalb des Krümmungsmittelpunktes, so fallen die von diesem Punkte zum Spiegel gelangenden Lichtstrahlen nicht mit den Einfallslothen zusammen, sondern sie liegen sämmtlich etwas höher als diese; nach dem Spiegelungsgesetz müssen nun die zurückgeworfenen Strahlen ebenso viel unterhalb ihrer Einfallslothe liegen, als die einfallenden Strahlen darüber liegen; infolge dessen laufen die von A auf den Spiegel fallenden und von diesem zurückgeworfenen Strahlen nach dem Punkte a zusammen. Die ausgezogenen Linien der Figur deuten die Strahlen, die punktirten die Einfallslothe (Krümmungshalbmesser) an.

Fig. 248.

Besitzt der leuchtende Punkt in A eine hinlängliche Lichtstärke, so entsteht auf einem kleinen Schirm, den man an die Stelle von a bringt, durch das Zusammentreffen der reflectirten Lichtstrahlen ein hellerleuchteter Punkt,

Fig. 249.



d. i. ein Bild des Punktes A. Das auf einem Schirme aufgefangene Bild eines Punktes kann aus verschiedenen Richtungen gesehen werden; ist der Schirm durchscheinend, so ist es aus allen Richtungen sichtbar. Ohne Schirm kann man dasselbe aber nur dann wahrnehmen, wenn man, wie bei einem ebenen Spiegel, in den Spiegel selbst hineinsieht; ein vor a befindliches Auge erhält die Strahlen, welche sich im Punkte a durchkreuzt haben, gerade so, als ob sie aus dem Punkte a selbst herkämen.

Bilder von der Art, wie das eben besprochene, die entstehen durch wirk-

liche Durchkreuzung von Strahlen, welche ursprünglich von einem leuchtenden Punkte ausgegangen sind, heißen reelle; solche, wie sie ein ebener Spiegel giebt, die nur durch das scheinbar von einem Punkte her stattfindende Auseinanderfahren der Strahlen entstehen, virtuelle. Nur reelle Bilder, die vor einem Spiegel liegen, kann man auf einem Schirme auffangen, niemals virtuelle, die hinter dem Spiegel liegen.

Von einem Punkte B, der sich zwischen A und dem Krümmungsmittelpunkt c befindet, wird ein Bild in b, zwischen dem Bilde a und dem Krümmungsmittelpunkt entstehen. Denkt man sich über oder neben dem Krümmungsmittelpunkte einen ganzen leuchtenden Körper, so wird von jedem seiner Punkte ein Bild auf der anderen Seite des Krümmungsmittelpunktes entstehen und diese Bilder geben zusammen ein Bild des ganzen Körpers; dieses Bild hat mit dem Gegenstand gleiche Größe, ist aber, wie sich schon aus der Lage von A, B und a, b ergiebt, verkehrt.

Concavspiegel, welche aus gekrümmtem Glase mit Quecksilberbelegung hergestellt sind, geben keine ordentlichen Bilder; die doppelten oder mehrfachen Bilder, welche Glasspiegel immer geben, stören bei gekrümmten Spiegeln viel mehr, als bei ebenen, weil sie bei ersteren verschiedene Größe haben. Um brauchbare Bilder zu bekommen, muß man Convexspiegel anwenden aus Metall oder aus Glas, welches auf der vorderen Fläche mit einer spiegelnden Silberschicht überzogen ist. Genau gearbeitete Hohlspiegel, wie sie zur Herstellung großer Fernrohre dienen, sind schwierig herzustellen und deshalb kostbar; um nur die verschiedenen Eigenthümlichkeiten der Hohlspiegelbilder zu studiren, reichen Metallspiegel aus, die man sich aus einem Gemisch von Blei und Zinn[41] selbst herstellt. Freilich haben diese Spiegel nie eine ordentlich glatte, sondern eine feinwellige Oberfläche, so daß die Bilder, welche sie geben, etwas verwaschen sind und kaum einen Begriff geben können von der Schärfe der Bilder guter Hohlspiegel und überdies ist der Glanz ihrer Oberfläche ziemlich vergänglich, sie genügen aber um auf einem Schirme ein erkennbares Bild einer Kerzenflamme zu erzeugen und sind nach etwaigem Erblinden leicht wieder neu herzustellen. Ein Gemisch von 29 Theilen Zinn und 19 Theilen Blei hat die Eigenschaft, sehr leicht zu schmelzen (es giebt ein gutes Schnellloth); drückt man ein reines Glasstück auf die blanke Oberfläche der geschmolzenen und bis fast zum Erstarren abgekühlten Legirung, so legt sich diese an das Glas an und giebt einen starkglänzenden Abdruck der Glasoberfläche. Einen Hohlspiegel erhält man mit Hülfe eines gewölbten Glases, einer sogenannten Glaslinse. Man kann allenfalls mit jedem Brennglas einen Hohlspiegel herstellen, doch benutzt man am besten die im nächsten §. erwähnte Linse von circa 6^{cm} Durchmesser, welche nur schwach gewölbt ist. Ein stark gewölbtes Glas giebt natürlich stark vertiefte Abdrücke, ein stark vertiefter Spiegel giebt aber verzerrte Bilder; was im Vorhergehenden und Folgenden von den Hohlspiegeln gesagt ist, gilt in aller Strenge nur von Spiegeln, deren Breite nicht mehr, als etwa $^1/_{12}$ des Krümmungshalbmessers beträgt oder bei denen die Tiefe der Höhlung nur etwa $^1/_{90}$ von der Breite des Spiegels ausmacht; bei stärker gewölbten Spiegeln werden die Bilder immer etwas verzerrt oder verwaschen. Solche sehr schwach gekrümmte Spiegel, wie sie in großen Fernrohren wirklich angewendet werden, erfordern aber beträchtliche Entfernungen, um die verschiedenen Arten von Bildern darzustellen, deshalb benutzt man, wenn es sich, wie hier, nur darum handelt, die verschiedenartigen Bilder anschaulich zu machen, etwas stärker vertiefte Spiegel. In den obigen und den noch folgenden Figuren sind die Hohlspiegel immer viel zu stark gewölbt gezeichnet, weil die Figuren sonst hätten müssen entweder sehr niedrig oder sehr lang werden. Die Wölbung einer Fläche unserer Linse beträgt etwa $^1/_{40}$ ihrer Breite, ebenso groß ist natürlich die Tiefe des mittelst der Linse hergestellten Spiegels.

---

[41] Gemische verschiedener Metalle, die man durch Zusammenschmelzen herstellt, nennt man Legirungen.

Aus starker Pappe schneidet man zwei viereckige Stücke von etwa 10^{cm} Länge und Breite, aus dem einen wird ein Kreis herausgeschnitten, dessen Durchmesser einige Millimeter kleiner ist, als der der Linse; dann leimt man beide Stücke platt aufeinander, so daß ein flaches Gefäß mit kreisrunder Vertiefung zum Eingießen des Metalls entsteht. Selbstverständlicherweise muß der Leim trocken geworden sein, ehe man das flüssige Metall eingießt, aber auch dann werden sich gewöhnlich Anfangs Blasen von Dampf bilden, den die Wärme aus der Pappe austreibt; man muß deshalb unmittelbar vor dem Herstellen der Spiegel das Metall ein oder zwei Mal in die Pappform gießen und darin erstarren lassen, um dieselbe auszutrocknen.

Auf die eine Seite der Glaslinse leimt man einen großen Kork als Griff zum Anfassen; die aufzuleimende Fläche muß womöglich ein wenig ausgehöhlt werden, damit man nur ganz wenig Leim braucht; eine dicke Leimschicht trocknet nicht ordentlich aus und erweicht, wenn das Glas warm wird.

114^{gr} ($= 6 \cdot 19^{gr}$) Blei und 174^{gr} ($= 6 \cdot 29^{gr}$) Zinn schmilzt man zunächst im Löffel zusammen und rührt das Gemisch mit einem Spahn durcheinander. Damit man es nicht zu heiß ausgießt, läßt man es zweckmäßig erst einmal erstarren und erhitzt es dann nur soweit, daß noch ein kleiner Theil ungeschmolzen bleibt. Beim Schmelzen überzieht sich die Legirung mit einer matten, grauen Haut, gießt man sie aber behutsam in die Pappform, indem man sie ganz am Rande der kreisförmigen Vertiefung einfließen läßt, so füllt sich diese mit reinem, glänzenden Metall; die Haut bleibt im Löffel zurück. Man gießt die Form übervoll, so daß das Metall etwa 2^{mm} über den Rand derselben heraufgeht, wartet, bis sich auf der blanken Metalloberfläche einige kleine, matte Punkte zeigen, die von beginnender Erstarrung herrühren, streicht dann mit der Kante eines Kartenblattes oder eines ähnlich steifen Papieres über das Metall hin, um die erstarrten Theilchen zur Seite zu schieben und die Oberfläche wieder blank zu machen und drückt das Glas sofort auf. Beim Aufdrücken muß man das Glas etwas schief halten, so daß es sich von einer Seite her auf das Metall auflegt; hält man es wagrecht, so bleiben zuviel Luftblasen zwischen Glas und Metall. Das Glas muß schnell niedergedrückt und sofort wieder in die Höhe gehoben werden, sonst erwärmt es sich zu stark und springt. Sehr bald nach dem Aufheben des Glases hört man gewöhnlich ein Geräusch wie von zerspringendem Glase, was aber davon herrührt, daß sich das Metall vom Glase theilweise ablöst. Nach dem Erkalten braucht es nur einer gelinden Nachhülfe der Finger, um das Metall vom Glase zu trennen, wenn es nicht ganz von selbst abfällt. Der erste und gewöhnlich auch der zweite Abdruck sind nicht zu brauchen, sie sind durch viele Bläschen verunreinigt, welche ihren Ursprung in der auf der Glasfläche haftenden Schicht von Wasser und verdichteter Luft haben. Die ersten Abdrücke werden wieder eingeschmolzen, der dritte ist in der Regel brauchbar, wenn er auch noch einige Bläschen zeigt. Man wendet nach dem Abheben das Glas um, so daß die Metallfläche nach oben kommt und drückt auf diese vor dem völligen Erkalten ein 3 bis 4^{cm} langes Stück einer Siegellackstange, welches anschmelzen und später als Stiel zum Einklemmen in die Gabel des Retortenhalters dienen soll.

Die so erhaltenen dünnen Spiegel verbiegen sich sehr leicht, besonders wenn man beim Ablösen vom Glase Gewalt anwendet, deshalb vermeide man, das Glas so tief in das flüssige Metall hineinzudrücken, daß sich dieses an und um den Rand des Glases anlegt.

Ehe man wirklich mittelst der Glaslinse Hohlspiegel formt, übe man sich mit einem Stück Fensterglas von passender Größe, um besonders im schnellen Niederdrücken und Aufheben des Glases die Fertigkeit zu erlangen, welche nöthig ist, um das Glas nicht springen zu lassen.

Unmittelbar nach dem Erstarren hat die am Glase anliegende Fläche des Metalls genau die Form des Glases, erst einige Zeit nachher, manchmal erst nach der völligen Ablösung vom Glase nimmt sie die kleinen, welligen Unebenheiten an; diese sind übrigens um so schwächer, je näher beim Aufdrücken des Glases das Metall seinem Erstarrungspunkte war und je dünner die Metallschicht gerathen ist. Die neue Spiegelfläche hat einen ausgezeichneten Glanz, der sich lange erhält, wenn man

vermeidet, sie mit den Fingern zu berühren oder sie staubig werden zu lassen; nach dem Berühren oder Abwischen erblindet sie schnell; deshalb bewahre man den Spiegel immer mit der blanken Fläche abwärts gekehrt auf.

Ein Stück Pappe, womöglich mit weißem Papier überzogen, klemmt man in senkrechter Lage in einem Retortenhalter und stellt es in einem dunklen Zimmer so dicht neben einer brennender Kerze auf, als geschehen kann, ohne es zu versengen. Der mit seinem Stiel in einen zweiten Retortenhalter befestigte Hohlspiegel wird einige Decimeter von der Kerze so aufgestellt, daß er sich in gleicher Höhe mit der Flamme befindet und das auf ihn fallende Licht auf das Pappstück wirft und zwar auf den zunächst der Kerzenflamme befindlichen Theil. Gegenstand und Bild sollen sich nahe an der Axe des Spiegels befinden, man muß also dem Spiegel eine solche Stellung geben, daß eine Linie, welche man von seinem Mittelpunkte nach einem Punkte zwischen der Kerzenflamme und dem ihr zugewendeten Rande des Pappstücks gezogen denkt, sowol auf dem Spiegel, als auf der Ebene des Pappstücks rechtwinkelig steht, wie die folgende Figur im Grundriß andeutet:

Pappschirm

Spiegel

O
Kerze

Man mache nun bei übrigens gleichbleibender Lage des Spiegels seine Entfernung von der Kerze etwas größer oder kleiner; wird bei der Bewegung der Lichtfleck, welchen die vom Spiegel auf die Pappe geworfenen Strahlen hervorbringen, größer, so bewege man den Spiegel in entgegengesetzter Richtung; man wird dann bald eine Stellung des Spiegels finden, bei welcher der Lichtfleck ein deutliches, verkehrtes Bild der Flamme bildet; außer der Flamme erkennt man im Bilde wol auch noch den hellbeleuchteten, obersten Theil der Kerze.

Die Entfernung des Spiegels, bei welcher das Bild am deutlichsten ist, ist sein Krümmungshalbmesser; bei dem mit unserer Linse dargestellten Spiegel soll er etwa $0^{m},3$ betragen. Da eine Flamme am Rande nicht ganz scharf begrenzt ist und das Bild nicht gleiche Helligkeit mit der Flamme hat, so kann bei der richtigen Stellung des Spiegels das Bild leicht etwas kleiner erscheinen, als die Flamme; will man diesen Uebelstand vermeiden, so wendet man ziemlich dünne Pappe an, schneidet aus dieser ein kleines Dreieck aus und stellt dieselbe nicht neben, sondern vor die Flamme, so daß diese durch die dreieckige Oeffnung hindurchscheint und man nicht ein Bild der Flamme, sondern ein Bild der Oeffnung erhält, welches dicht neben dieser selbst liegt und mit ihr genau gleiche Größe hat. Das Dreieck macht man 6 bis 8^{mm} breit und 20 bis 25^{cm} hoch, die Spitze soll es oben haben. Damit das Bild ordentlich hell ausfällt, muß das Licht gehörig auf den Spiegel treffen, man überzeugt sich davon, indem man hinter diesen ein großes Papierblatt hält; der Spiegel muß ohngefähr die Mitte des hellen Fleckes einnehmen, welchen das durch den Ausschnitt des Pappstücks fallende Licht auf diesem Papiere hervorbringt.

Strahlen, welche der Axe parallel auf einen Concavspiegel fallen, Fig. 250, werden so reflectirt, daß sie sich in einem Punkte der Axe schneiden, welcher in der Mitte zwischen dem Krümmungsmittelpunkte und dem Mittelpunkte der Spiegelfläche liegt und der **Brennpunkt** oder **Focus** heißt.

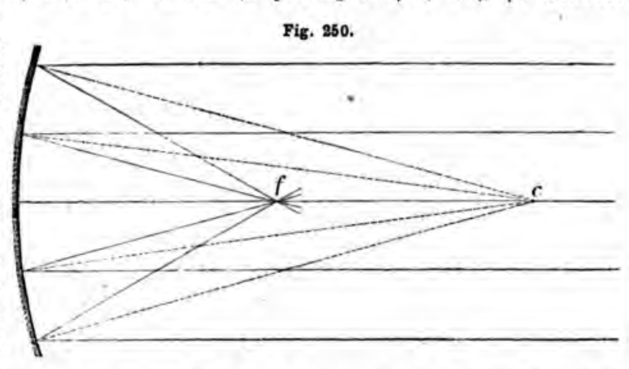
Hält man einen Concavspiegel so in die Sonnenstrahlen, daß dieselben möglichst in der Richtung der Axe auftreffen, so entsteht durch die Vereinigung der zurückgeworfenen Strahlen im Brennpunkte eine bedeutende Hitze, welcher dieser Punkt seinen Namen verdankt und nach der man die Concavspiegel auch **Brennspiegel** nennt; näheres darüber siehe in der Wärmelehre. Der Abstand des Brennpunktes vom Spiegel, also die Hälfte des Krümmungshalbmessers, heißt die **Brennweite**.

So, wie Strahlen, welche parallel der Axe auf den Spiegel fallen,

nach dem Brennpunkt zurückgeworfen werden, so werden solche Strahlen, welche in der Richtung vom Brennpunkt auf den Spiegel fallen, parallel mit der Axe zurückgeworfen.

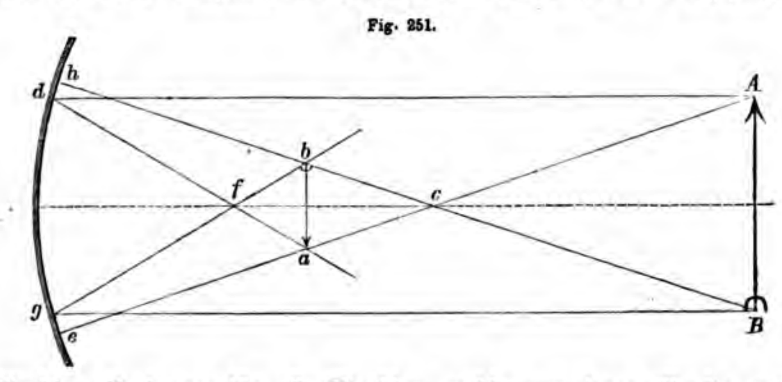
Alle Lichtstrahlen, welche von einem Punkte in der Nähe der Axe eines Hohlspiegels auf diesen fallen, werden so zurückgeworfen, daß sie entweder sich in einem anderen Punkte in der Nähe der Axe schneiden und da ein reelles Bild jenes ersten Punktes geben (wie in Fig. 249) oder daß die Strahlen auseinanderfahren, als ob sie aus einem Punkte kämen, welcher hinter dem Spiegel in der Nähe der Axe liegt, also so, daß ein virtuelles Bild des leuchtenden Punktes entsteht.

Fig. 250.



Mit Hülfe dessen, was oben über den Gang von Lichtstrahlen gesagt ist, die durch den Krümmungsmittelpunkt oder durch den Brennpunkt gehen oder der Axe parallel sind, kann man von jedem gegebenen Punkte aus den Weg zweier Strahlen verfolgen und den Punkt finden, in dem sie nach der Reflexion sich schneiden oder von dem aus sie zu divergiren scheinen; dieser Punkt ist aber immer das Bild des ersten Punktes, denn der Schnittpunkt oder scheinbare Ausganspunkt **zweier** von einem Punkte ausgegangener

Fig. 251.



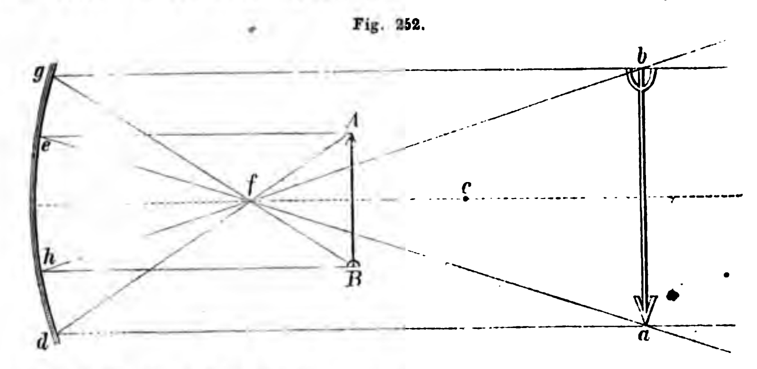
Strahlen gilt immer für alle Strahlen, welche von jenem Punkte ausgegangen sind. Sucht man von zwei Punkten eines Körpers, der sich vor einem Hohlspiegel befindet, die Bilder, so ergiebt sich leicht der Ort, die Stellung und die Größe des ganzen Bildes.

Für einen **um den Krümmungshalbmesser vom Spiegel entfernten Gegenstand** haben wir schon oben gesehen, daß von ihm ein **verkehrtes Bild in natürlicher Größe in gleichem Abstande vom Spiegel** entsteht.

Ein Gegenstand A B, Fig. 251, sei um mehr, als die doppelte Brenn-

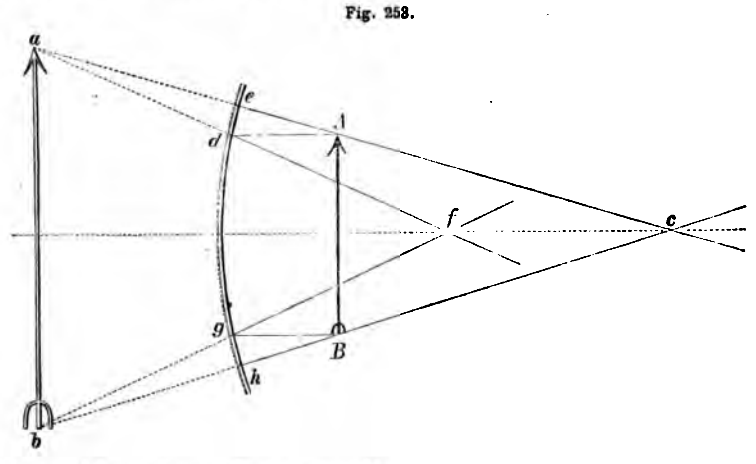
weite, also weiter, als der Krümmungsmittelpunkt vom Spiegel entfernt. Der von A parallel zur Axe auf den Spiegel fallende Strahl A d wird nach dem Brennpunkte f zurückgeworfen; der von A durch den Krümmungsmittelpunkt c gehende Strahl A c e wird in sich selbst, also in der Richtung e c zurückgeworfen; beide reflectirte Strahlen schneiden sich in a, in a ist also das Bild von A. Die von B ausgehenden Strahlen B g und B c h werden in der Richtung g f und h c zurückgeworfen; sie schneiden sich

Fig. 252.



in b, in b ist somit das Bild von B. Von den zwischen A und B liegenden Punkten des Gegenstandes liegen die Bilder zwischen a und b; a b wird also ein Bild des Gegenstandes A B sein: **von einem um mehr als die doppelte Brennweite vom Spiegel entfernten Gegenstande entsteht zwischen dem Brennpunkte und dem Krümmungsmittelpunkte ein umgekehrtes, verkleinertes, reelles Bild.**

Fig. 253.



Aus der Gleichheit des Einfalls- und Reflexionswinkels folgt unmittelbar, daß, wenn die von A und B kommenden Strahlen nach a und b reflectirt werden, auch umgekehrt Strahlen, welche von a und b kämen, nach A und B reflectirt werden müßten; daß also A B auch das Bild eines Gegenstandes a b sein würde: **von einem zwischen dem Brennpunkt**

und dem Krümmungsmittelpunkt befindlichen Gegenstand entsteht, um mehr als die doppelte Brennweite vom Spiegel entfernt, ein umgekehrtes, vergrößertes, reelles Bild.

Dasselbe läßt sich auch noch in anderer Weise finden; A B Fig. 252 sei der Gegenstand, c und f seien wieder der Krümmungsmittelpunkt und der Brennpunkt. Ein von A durch den Brennpunkt gehender Strahl A f d wird parallel der Axe zurückgeworfen, also in der Richtung d a; ein von A parallel der Axe auffallender Strahl A e wird durch den Brennpunkt, also in der Richtung e f a zurückgeworfen; der Durchschnittspunkt a ist das Bild von A und ebenso ergiebt sich der Durchschnittspunkt b der Strahlen B f g b und B h f b als das Bild von B.

Wenn sich ein Gegenstand im Brennpunkt befindet, so kommt gar kein Bild zu Stande; die zurückgeworfenen Strahlen sind untereinander parallel, sie schneiden sich weder in gewissen Punkten, noch scheinen sie von gewissen Punkten her auseinanderzulaufen.

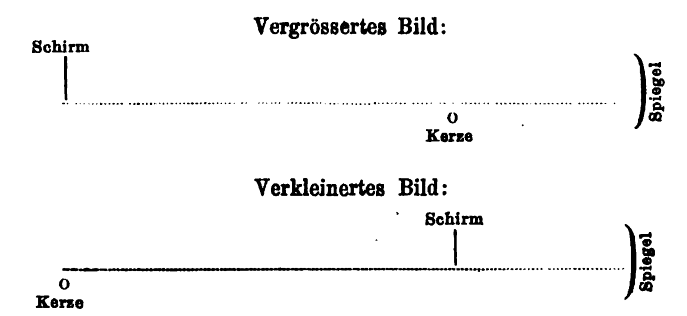
Endlich befinde sich ein Gegenstand zwischen dem Spiegel und dem Brennpunkte, Fig. 253. Der von A parallel zur Axe gehende Strahl A d wird durch den Brennpunkt f, ein in der Richtung A e, also in der Richtung des Krümmungshalbmessers, auffallender Strahl in sich selbst reflectirt; die beiden reflectirten Strahlen d f und e A c schneiden sich nicht; sie laufen vielmehr auseinander, als ob sie herkämen von a; von dem Punkte A entsteht also ein virtuelles Bild a hinter dem Spiegel. In ähnlicher Weise ergeben die Strahlen B g f und B h B c den Punkt b als das Bild von B und a b ist das Bild des Gegenstandes A B: von einem zwischen dem Brennpunkt und dem Spiegel befindlichen Gegenstande entsteht hinter dem Spiegel ein aufrechtes, vergrößertes, virtuelles Bild.[42]

Die vergrößerten und verkleinerten reellen Bilder, welche man erhält, je nachdem der Gegenstand um weniger oder mehr als die doppelte Brennweite vom Spiegel entfernt ist, lassen sich ähnlich darstellen, wie das weiter oben besprochene Bild in natürlicher Größe; die ohngefähre Aufstellung von Spiegel, Schirm und Kerze ist in den folgenden Figuren im Grundriß angedeutet:

---

[42] Ist die Entfernung eines Gegenstandes vom Hohlspiegel (Gegenstandsweite) und die Brennweite bekannt, so kann man die Entfernung des Bildes vom Spiegel (Bildweite) nach folgender Regel berechnen: Man multiplicirt die Gegenstandsweite mit der Brennweite und dividirt das Product durch den Unterschied dieser beiden Größen; der Quotient ist die Bildweite. Für einen Spiegel von 20^{cm} Brennweite erhält man bei 30^{cm} Entfernung des Gegenstandes die Bildweite $\frac{30 \cdot 20}{30-20} = 60^{cm}$ (vor dem Spiegel), bei 10^{cm} Entfernung des Gegenstandes die Bildweite $\frac{10 \cdot 20}{20-10} = 20^{cm}$ (hinter dem Spiegel).

Die Größen von Bild und Gegenstand verhalten sich immer wie ihre Entfernungen vom Krümmungsmittelpunkt. Im zuletzt angenommenen Falle liegt der Krümmungsmittelpunkt 40, der Gegenstand 10^{cm} vor dem Spiegel, ihre Entfernung ist also 30^{cm}; das Bild, 20^{cm} hinter dem Spiegel, ist vom Krümmungsmittelpunkt 60^{cm} entfernt, also 2mal so weit, als der Gegenstand, folglich ist es 2mal so groß. Im vorher angenommenen Falle ist die Entfernung des Gegenstandes vom Krümmungsmittelpunkt $40 - 30 = 10^{cm}$, die des Bildes $60 - 40 = 20$; das Bild ist also auch in diesem Falle $\frac{20}{10} = 2$mal so groß, als der Gegenstand.



Zum Auffangen des vergrößerten Bildes kann man den im vorigen §. beschriebenen Schirm von durchscheinendem Papier benutzen, zum Auffangen des verkleinerten ein Stückchen Briefpapier; man kann dann die Bilder von beiden Seiten des Schirmes aus sehen. Für das verkleinerte Bild eignet sich der auf einen Holzrahmen gespannte Papierschirm nicht, weil der undurchsichtige Rahmen das Bild nur auf einer Seite sehen läßt, wenn man dasselbe nicht zu weit neben der Axe des Spiegels erzeugen will. Um die richtigen Entfernungen zwischen Spiegel, Schirm und Gegenstand zu finden, wie sie zur Erzeugung eines deutlich begrenzten Bildes erforderlich sind, bewegt man einen der drei ohngefähr in der gewünschten Weise aufgestellten Gegenstände so lange hin und her, bis das Bild möglichst deutlich erscheint; beim verkleinerten Bilde ist es am zweckmäßigsten, den Schirm zu bewegen, beim vergrößerten Bilde die Kerze.

Bei einem Spiegel von 30^{cm} Krümmungshalbmesser (15^{cm} Brennweite) gehört zu einer Gegenstandsweite von 20^{cm} eine Bildweite von 60^{cm}, zu einer Gegenstandsweite von 25^{cm} eine Bildweite von $37^{cm},5$; die Vergrößerung des Bildes ist im ersten Falle eine dreifache, im zweiten Falle eine anderthalbfache. Nimmt man die hier angegebenen Bildweiten als Gegenstandsweiten, so erhält man die zugehörigen Gegenstandsweiten als Bildweiten und anstatt der angegebenen Vergrößerungen die entsprechenden Verkleinerungen.

Um eine recht starke Vergrößerung zu erhalten, kann man das Kerzenbild unmittelbar auf der Wand des Zimmers auffangen; ein stark verkleinertes Bild erhält man am einfachsten, wenn man bei Tage das Bild eines Fensters durch den in möglichster Entfernung vom Fenster aufgestellten Spiegel auf einen kleinen Schirm wirft, am besten auf den undurchsichtigen Papierschirm, weil ein durchscheinender Schirm vom Fenster zu viel Licht unmittelbar erhält und deshalb auf keiner von beiden Seiten das Bild deutlich zeigt.

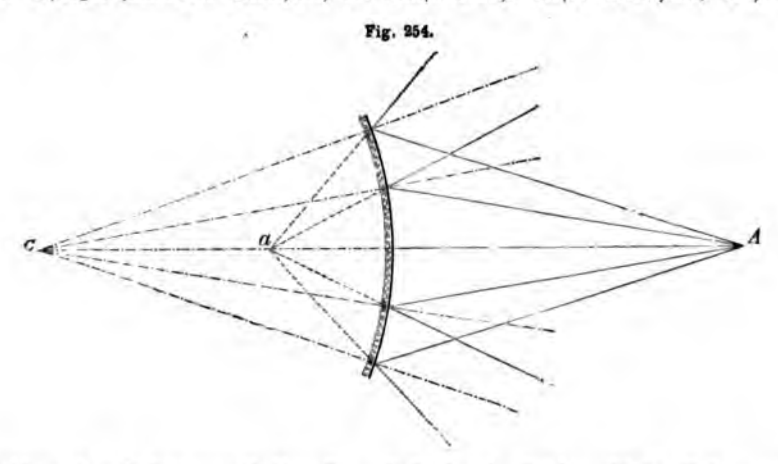
Um das aufrechte, vergrößerte, virtuelle Bild zu beobachten, welches hinter dem Spiegel liegt, braucht man diesen nur wie einen gewöhnlichen, ebenen Spiegel in geringe Entfernung vor das Gesicht zu halten.

Will man die reellen Bilder ohne Schirm mit dem Auge betrachten, wie es in Fig. 249 angedeutet ist, so giebt man dem Spiegel und der Kerze die gewünschte Stellung und sucht dann durch Bewegen des Kopfes die richtige Stelle für das Auge; das verkleinerte Bild ist leichter aufzufinden, als das vergrößerte. Bei dieser Art, die reellen Bilder zu betrachten, unterliegt man sehr leicht einer Gesichtstäuschung; es scheint nämlich leicht, als lägen die Bilder hinter dem Spiegel, während sie doch, wie man sich durch Auffangen auf dem Schirme leicht überzeugt, davor liegen; bei größeren Hohlspiegeln tritt diese Täuschung nicht so leicht ein, als bei kleinen, wie sie zu unseren Versuchen dienen, aber auch bei letzteren erkennt man die Lage der Bilder gewöhnlich richtig, wenn man sie erst auf einem durchscheinenden Schirme auffängt, dann das Auge auf die vom Spiegel abgewendete Seite dieses Schirmes bringt, um das Bild zu betrachten und nun den Schirm entfernt.

Die Convexspiegel geben keine so große Mannichfaltigkeit von Bildern, wie die Concavspiegel; bei ihnen liegt das Bild immer hinter dem Spiegel,

weil sie die auf sie fallenden Strahlen nicht sammeln, sondern zerstreuen, und weil also die Strahlen nie nach einem Punkte zusammenlaufen, sondern immer nur scheinbar von einem Punkte hinter dem Spiegel auseinanderfahren können. Fig. 254 zeigt die Zurückwerfung der von dem Punkt A aus auf den Spiegel fallenden Strahlen; die Einfallslothe dieser Strahlen, d. h. die

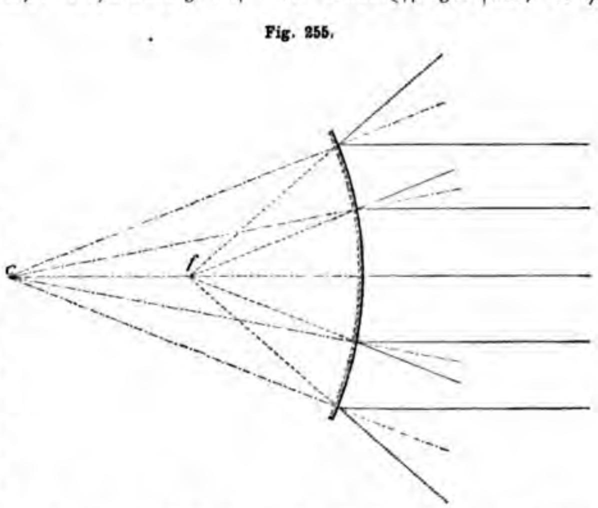
Fig. 254.



verlängerten Krümmungshalbmesser, sind durch strichpunktirte Linien angedeutet, die Richtungen der reflectirten Strahlen sind durch punktirte Linien noch rückwärts verlängert: die reflectirten Strahlen bewegen sich so, als ob sie von a ausgingen, a ist das Bild von A.

Ein Strahl, welcher rechtwinkelig auf einen Convexspiegel fällt, d. h. mit anderen Worten, welcher nach dem Krümmungsmittelpunkte des Spiegels gerichtet ist, wird in sich selbst zurückgeworfen; Strahlen, welche parallel zur Axe auffallen, Fig. 255, werden so reflectirt, daß sie herzukommen scheinen von dem Punkte f, der in der Mitte zwischen der Spiegelfläche und ihrem Krümmungsmittelpunkt liegt und der **Zerstreuungspunkt** oder **negative Brennpunkt** heißt; seine Entfernung vom Spiegel, also die Hälfte des Krümmungshalbmessers, heißt **Zerstreuungsweite** oder **negative Brennweite**.

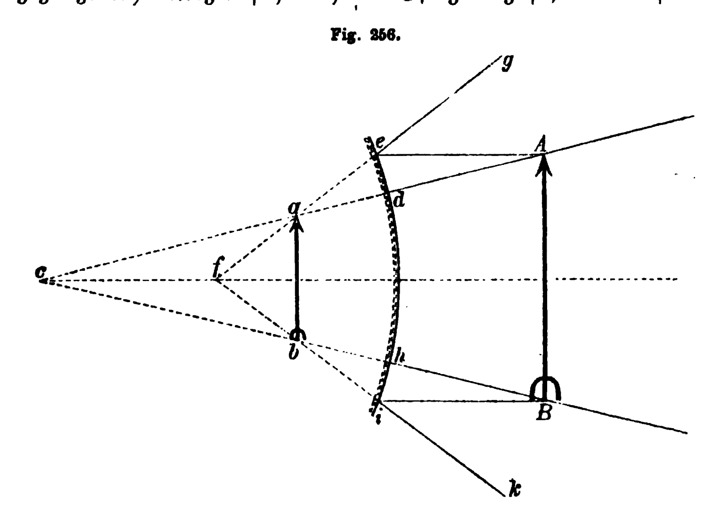
Fig. 255.



Wie beim Concavspiegel, so läßt sich auch beim Convexspiegel Ort,

Stellung und Größe des Bildes finden, das von einem davor befindlichen Gegenstand entsteht, wenn man von den äußersten Punkten desselben den Weg je zweier Strahlen verfolgt, deren einer nach dem Krümmungsmittelpunkt gerichtet, deren anderer der Axe parallel ist. Der von A, Fig. 256, nach dem Krümmungsmittelpunkt c gerichtete Strahl A d wird in sich selbst, also in der Richtung d A reflectirt, der von A parallel zur Axe gehende Strahl A e wird so zurückgeworfen, daß er aus f herzukommen scheint, also in der Richtung e g; die beiden Strahlen (und mit ihnen alle anderen, von A ausgegangenen) bewegen sich nach der Spiegelung so, als ob sie aus dem

Fig. 256.



Punkte a herkämen; a ist das Bild von A. Ebenso ergiebt sich b als das Bild von B durch den Durchschnitt der rückwärts verlängerten Strahlen h B und i k. **Von einem vor einem sphärischen Convexspiegel befindlichen Gegenstande entsteht hinter dem Spiegel ein virtuelles, aufrechtes, verkleinertes Bild.**[43]

Da die Convexspiegelbilder nicht so mannichfaltig sind, als die Concavspiegelbilder, so braucht man sich nicht besondere Concavspiegel zu machen, sondern kann sich mit solchen kugelförmig gewölbten Flächen begnügen, die zufällig vorkommen.

---

[43] Die Entfernung des Bildes vom Spiegel findet man beim Convexspiegel, wenn man die Entfernung des Gegenstandes mit der Zerstreuungsweite multiplicirt und das Product durch die Summe der Gegenstandsweite und Zerstreuungsweite dividirt. Die Größen von Bild und Gegenstand verhalten sich auch beim Convexspiegel, wie ihre Entfernungen vom Krümmungsmittelpunkte.

Befindet sich 15^{cm} vor einem Convexspiegel, der 40^{cm} Krümmungshalbmesser und somit 20^{cm} Zerstreuungsweite hat, ein 10^{cm} hoher Gegenstand, so findet man die Entfernung des Bildes vom Spiegel $\frac{15 \cdot 20}{15 + 20} = 8^{cm},57$; da der Gegenstand vor, das Bild hinter dem Spiegel liegt, so sind die Entfernungen des Gegenstandes und des Bildes vom Krümmungsmittelpunkt $40 + 15 = 55^{cm}$ und $40 - 8,57 = 31^{cm},43$ und die Bildgröße ergiebt sich aus der Proportion $55^{cm} : 31^{cm},43 = 10^{cm} : x$ als $\frac{31,43 \cdot 10}{55}$ $= 5^{cm},71$.

Ein Uhrglas (nicht ein sogenanntes Patentglas, sondern ein altmodisches, gewölbtes) giebt einen leidlichen Convexspiegel, wenn man seine hohle Seite berußen läßt über der Flamme eines an einem Drahte befestigten, erbsengroßen Stückchens in Terpentinöl getauchter Baumwolle. (Eine andere Flamme rußt nicht so stark und bewirkt leicht eine Erhitzung des Glases bis zum Zerspringen, ehe es ganz berußt ist.) Auch die mit Quecksilber gefüllte Kugel eines Thermometers, eine mit dunkler Flüssigkeit (Tinte) gefüllte Kochflasche, ein blanker, rundlicher Metallknopf können als Convexspiegel dienen. Sehr häufig stellt man hohle, innen schwarz angestrichene oder mit Quecksilber belegte Glaskugeln als Convexspiegel in Gärten auf.

Gegenstände, die nicht beträchtlich kleiner oder gar größer sind, als ein Convexspiegel, darf man demselben nicht zu nahe bringen, wenn man nicht verzerrte Bilder bekommen will. Die Bilder entfernter Gegenstände sind stärker verkleinert, als die näherer; bei einem Körper von großer Ausdehnung, der sich in der Nähe des Spiegels befindet, werden immer einzelne Theile dem Spiegel wesentlich näher und deshalb im Bilde weniger verkleinert erscheinen, als andere Theile desselben Körpers: daher diese Verzerrungen. Nähert man das Gesicht einem nicht sehr großen Convexspiegel, so erscheint die vorstehende Nase im Bilde viel zu groß gegen das Uebrige, das Bild macht den Eindruck einer Carricatur.

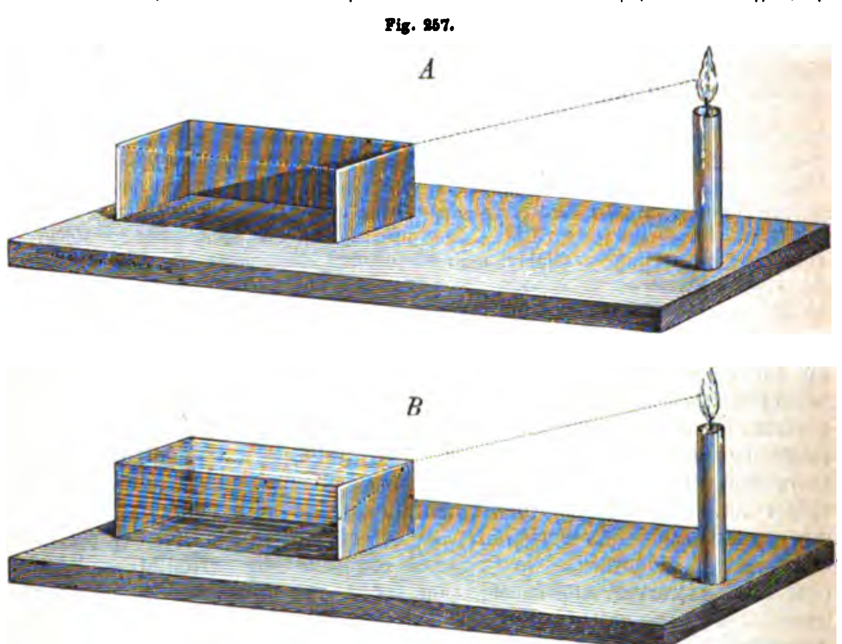
40. Brechung des Lichtes, Prismen, Linsen, Camera obscura. Von dem Lichte, das auf die Oberfläche eines Körpers fällt, werden je nach der Beschaffenheit dieser Oberfläche sehr verschieden große Mengen reflectirt, um so mehr, je heller und glatter, um so weniger, je dunkler und rauher die Fläche ist. Aber auch die bestpolirten Metallspiegel werfen nicht alles auf sie fallende Licht zurück; ein Theil des Lichtes dringt immer in's Innere der Körper ein. Sind die Körper undurchsichtig, so wird das Licht noch ganz nahe an der Oberfläche verschluckt, es dringt nur sehr wenig tief ein; sind die Körper durchscheinend, so wird es nur allmählig verschluckt und kann tiefer in die Körper eindringen, zum Theil auch durch dieselben hindurchgehen. In durchsichtigen Körpern erleidet das Licht eine nur unmerkliche Schwächung, dagegen meist eine ziemlich auffällige Veränderung seiner Richtung; nur wenn die Strahlen senkrecht auf die Oberfläche eines durchsichtigen Körpers fallen, gehen sie in diesem mit unveränderter Richtung fort.

Ein rechteckiges, wasserdichtes Gefäß (etwa eine blecherne Zuckerdose) stellt man auf den Tisch in solcher Entfernung von einer brennenden Kerze oder Lampe (letztere ohne Schirm), daß der Schatten der einen Wand gerade den ganzen Boden bedeckt, wie Fig. 257 A zeigt; in der Figur ist die Vorderwand des Gefäßes weggelassen, um das Innere sehen zu lassen, was man in Wirklichkeit nur beim Hineinsehen in das Gefäß von oben erblicken kann. Füllt man nun das Gefäß, ohne es von seiner Stelle zu rücken, mit Wasser, so erscheint nicht mehr der ganze Boden beschattet, Fig. 257 B, die auf die Wasserfläche fallenden Lichtstrahlen gehen im Wasser in steilerer Richtung abwärts, als sie sich in der Luft bewegten. Diese beim Uebergang der Lichtstrahlen aus einem durchsichtigen Körper (Luft) in einen anderen (Wasser) stattfindende Richtungsänderung nennt man die Brechung oder Refraction des Lichtes, die Fläche, an welcher und die beiden Stoffe, zwischen denen sie stattfindet, die brechende Fläche und die brechenden Mittel.

Um die Lichtbrechung beim Uebergang aus Luft in Wasser zu zeigen, kann man anstatt eines rechteckigen auch ein rundes Gefäß (Schüssel) anwenden; die Begrenzung des Schattens ist dann aber nicht so einfach geradlinig, sondern krummlinig und deshalb ist die Gleichmäßigkeit der Brechung für die verschiedenen Strahlen, welche den Rand des Gefäßes treffen, nicht so leicht zu beobachten.

Legt man auf den Boden eines leeren, undurchsichtigen Gefäßes einen schweren, kleinen Körper (ein Geldstück oder dergl.) und bringt das Auge in solche Höhe und solche Entfernung vom Gefäße, daß der Rand desselben eben den Körper verdeckt und füllt man dann das Gefäß mit Wasser, so

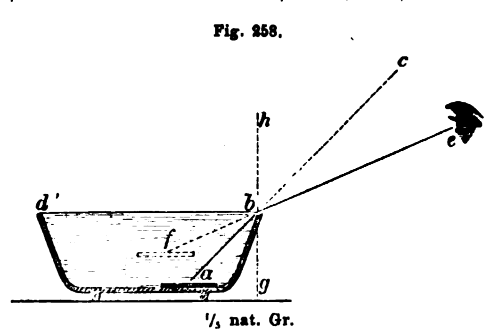
Fig. 257.



a. P. ¼ nat. Gr.

erblickt man bei unveränderter Stellung des Auges den Körper, es macht den Eindruck, als ob das Gefäß weniger tief wäre, als es in Wirklichkeit ist. Der Grund davon ist der, daß das Licht beim Uebergang aus dem Wasser in die Luft gerade in umgekehrter Weise gebrochen wird, wie beim Uebergang aus der Luft in das Wasser. Der von dem Körper ausgehende Lichtstrahl a b Fig. 258, welcher, wenn das Gefäß leer wäre, nach c gehen würde, geht nach dem Austritt aus der Wasserfläche d b in der Richtung b e fort, so daß das in e befindliche Auge den Eindruck empfängt, als ob er aus f käme. Der Winkel, welchen der auf die brechende Fläche fallende Lichtstrahl mit dem Einfallslothe bildet (in Fig. 258 der Winkel a b g) heißt, wie bei der Reflexion, der **Einfallswinkel**, der Winkel, welchen der gebrochene Strahl mit der Verlängerung des Einfallslothes macht (in Fig. 258 der Winkel e b h) der **Brechungswinkel**. Geht, wie beim ersten Versuche, der Lichtstrahl

Fig. 258.

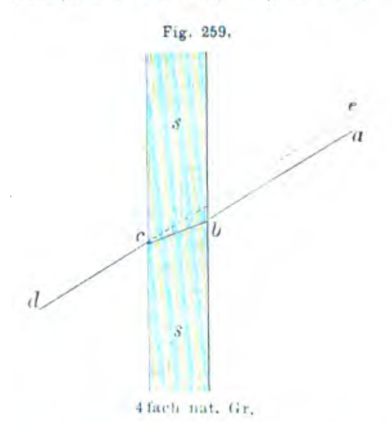


⅕ nat. Gr.

aus Luft in Wasser, so ist der Einfallswinkel größer, als der Brechungswinkel; beim Uebergang aus Wasser in Luft ist der Brechungswinkel größer, als der Einfallswinkel. In welcher Richtung der Lichtstrahl auch gehen mag, immer ist der Winkel, welchen er im Wasser mit dem Einfallslothe macht, kleiner, als der Winkel, den er in der Luft mit dem Einfallslothe bildet.

Beim Durchgang des Lichtes durch eine Fensterscheibe ist von der Brechung nichts zu bemerken, wenn die beiden Flächen der Scheibe ordentlich parallel sind. In Fig. 259 sei s s der Querschnitt der Scheibe, a b der auffallende Lichtstrahl; derselbe wird bei b so gebrochen, daß er von b nach c geht und bei c so, daß er nach d weiter geht, also seiner ursprünglichen Richtung parallel und nur ein wenig zur Seite verschoben ist; ein bei d befindliches Auge erblickt den Gegenstand, von dem der Strahl a b kommt, so als ob er sich bei e befände; diese seitliche Verrückung ist so unmerklich, daß man sie nur selten wahrnehmen kann, nämlich nur dann, wenn die Scheibe ganz außergewöhnlich dick ist. Bei Anwendung von passend gestalteten Glasstücken findet man aber, daß das Licht beim Uebergang aus Luft in Glas stärker von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird, als beim Uebergang aus Luft in Wasser; man nennt deshalb das Glas **stärker lichtbrechend**, als das Wasser. Fallen zwei Lichtstrahlen unter gleichem Einfallswinkel auf eine Glas- und eine Wasseroberfläche, so ist der Brechungswinkel im Glas kleiner, als der im Wasser.

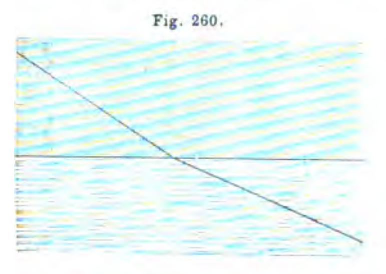
Fig. 259.



4fach nat. Gr.

Geht ein Lichtstrahl aus Glas in Wasser oder umgekehrt, Fig. 260, so ist der Winkel, den er mit dem Einfallsloth macht, im Glas ebenfalls kleiner, als im Wasser und ähnlich verhält es sich in allen Fällen, **immer ist dasjenige Mittel, in dem der Strahl den größeren Winkel mit dem Einfallsloth macht, das schwächer lichtbrechende**; nach den zuerst erwähnten Brechungsversuchen ist somit die Luft ein schwächer lichtbrechendes Mittel, als das Wasser.

Fig. 260.

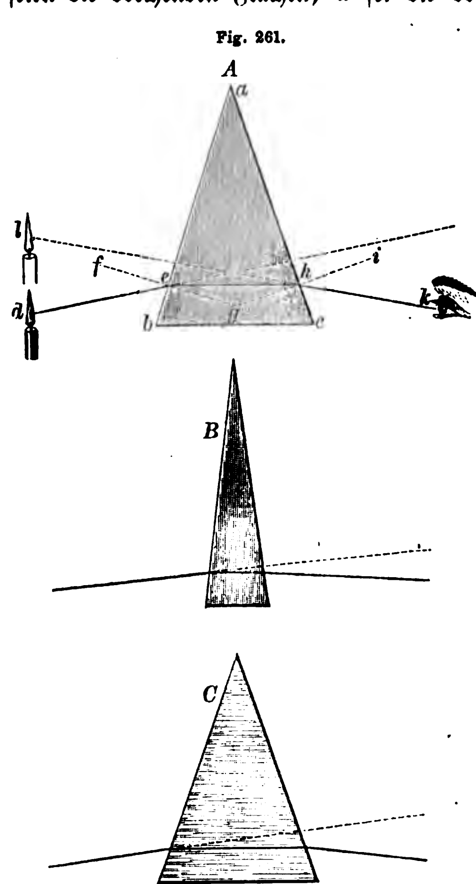


Ein Körper von der in Fig. 6 (S. 12) dargestellten Form heißt ein **dreiseitiges Prisma**. Aehnlich gestaltete Prismen aus durchsichtigen Stoffen sind sehr geeignet, die Ablenkung des Lichtes durch die Brechung zu zeigen. Zu optischen Zwecken ist übrigens nur nöthig, daß an dem durchsichtigen Körper zwei genau ebene Flächen (**brechende Flächen**) vorhanden sind, welche gegeneinander eine ähnliche Lage haben, wie die vordere und hintere Fläche des Prisma Fig. 6, d. h. also, welche einander **nicht** parallel sind. Ein **optisches Prisma** kann also jeder mit zwei nicht parallelen, ebenen Flächen versehene, durchsichtige Körper genannt werden, welches auch

im übrigen seine Form sei.[44] Die Kante, in der die beiden brechenden Flächen zusammentreffen (in Fig. 6 die linke Kante des Prisma) heißt die **brechende Kante**, und der Winkel, den sie miteinander bilden, der **brechende Winkel**.

In Fig. 261 A sei a b c der Querschnitt eines Prisma, a b und a c seien die brechenden Flächen, a sei die brechende Kante. Von der Kerze d falle ein Lichtstrahl d e auf das Prisma. Das Einfallsloth dieses Strahles ist f e g. In dem stärker brechenden Mittel (Glas), aus dem das Prisma besteht, ist der Winkel, den der Lichtstrahl mit dem Einfallsloth macht, kleiner, als in der Luft, der Strahl geht in der Richtung e h durch das Prisma (der Winkel h e g ist kleiner, als der Winkel d e f). An der zweiten Fläche erleidet der Lichtstrahl eine abermalige Brechung. Hier ist g h i das Einfallsloth. Der Winkel, den der Strahl nach der Brechung in der Luft mit dem Einfallslothe macht, muß größer sein, als der Winkel im Prisma, der Strahl tritt in die Luft in der Richtung h k aus. Wenn das Prisma die in der Figur gezeichnete Stellung hat (die brechende Kante nach oben), so wird an beiden brechenden Flächen der Lichtstrahl nach unten abgelenkt. Beim Durchgange durch ein Prisma, das aus einem stärker brechenden Mittel besteht, als seine Umgebung, wird ein Lichtstrahl immer von der brechenden Kante weggebrochen. Betrachtet man aber einen Gegenstand durch ein Prisma, so erscheint dieser nicht von der brechenden Kante weg, sondern nach ihr hin verschoben. Das in Fig. 261 A dargestellte Prisma lenkt die Strahlen der Kerze nach unten ab, ein bei k befindliches Auge empfängt die Strahlen in der Richtung von h, also so, als ob sie von dem Punkte l kämen; es erblickt durch das Prisma die Kerzenflamme bei l.

Fig. 261.



Die **Ablenkung**, welche ein Lichtstrahl beim Durchgang durch ein

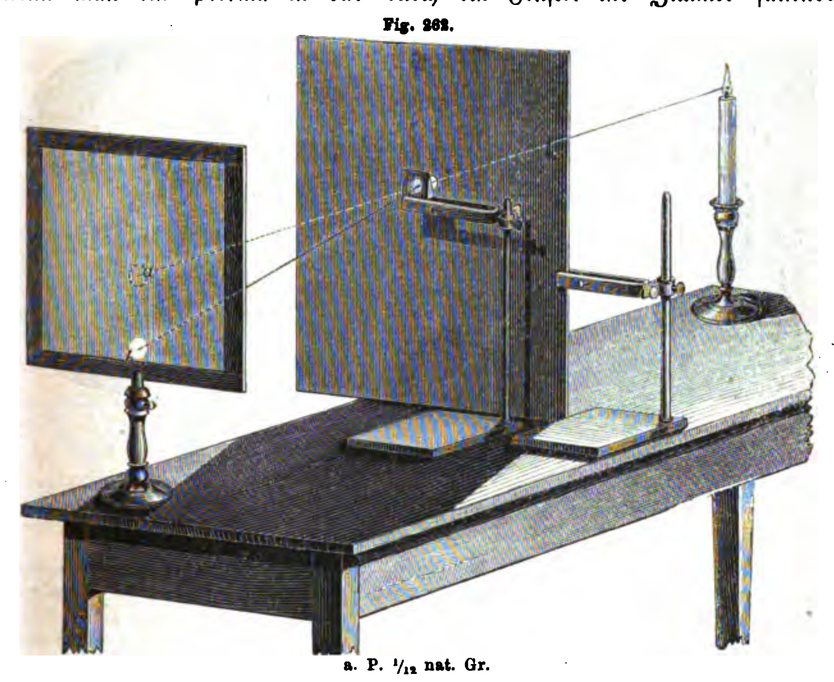
[44] Die meisten, zu optischen Zwecken dienenden Prismen, namentlich die aus Glas, sind allerdings wirkliche dreiseitige Prismen; es finden aber auch optische Prismen Verwendung, deren brechende Flächen die schiefen Endflächen eines Cylinders sind, wie die später zu betrachtenden Flüssigkeitsprismen.

Prisma erleidet, ist um so stärker, je größer der brechende Winkel und je stärker lichtbrechend die Substanz des Prisma ist. Fig. 261 A und B geben den Weg des Strahles für zwei Glasprismen mit verschieden großem brechenden Winkel, C giebt die Ablenkung durch ein Wasserprisma, dessen brechender Winkel gleich dem des in A gezeichneten Glasprisma ist.

Da man einem tropfbaren Körper für sich allein nicht eine bestimmte Gestalt geben kann, so lassen sich Prismen aus Wasser oder anderen Flüssigkeiten nur dadurch herstellen, daß man diese zwischen Glaswände einschließt; wenn diese Wände durch parallelflächige Platten gebildet sind, wird der Lichtstrahl durch sie nicht in seiner Richtung beeinflußt und erleidet nur die Ablenkung, die ihm die Flüssigkeit ertheilt.

Bei Sonnenschein kann man die Ablenkung der Strahlen leicht zeigen, wenn man ein Prisma in das durch ein Fenster ins Zimmer fallende

Fig. 262.



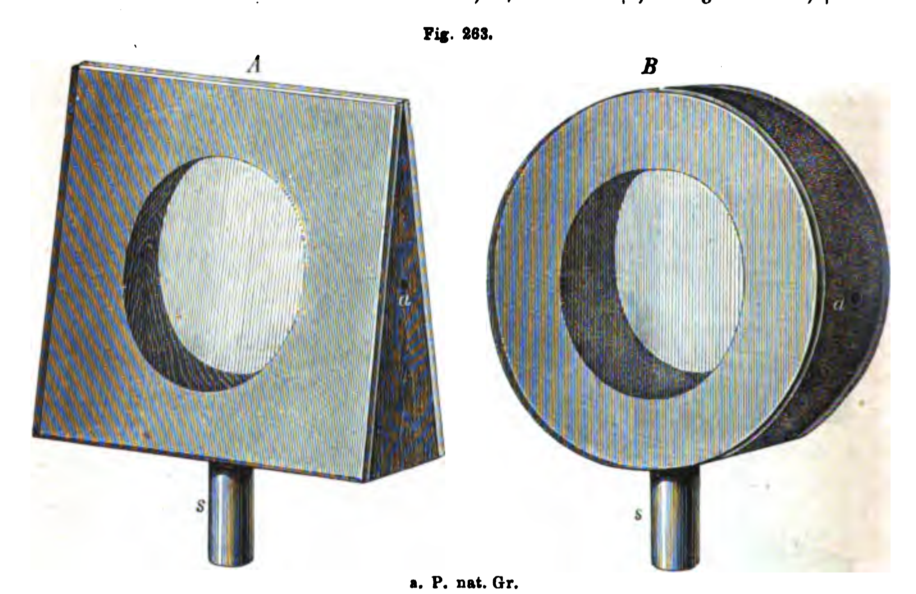
a. P. 1/12 nat. Gr.

Strahlenbündel bringt; die aus ihrer Richtung abgelenkten Strahlen bringen auf dem Fußboden oder an der Wand einen hellen Fleck hervor an einer Stelle, die vorher nicht beschienen war. Man kann das Prisma in einem Retortenhalter befestigen, den man auf das Fensterbrett stellt; kehrt man die brechende Kante nach oben, so erleuchten die durch das Prisma gegangenen Strahlen eine Stelle des Fußbodens, welche der Wand, in der sich das Fenster befindet, näher liegt, als die von den ungebrochenen Strahlen beleuchtete Stelle; kehrt man die brechende Kante nach unten, so erleuchten die abgelenkten Strahlen eine weiter entfernte Stelle oder einen Fleck der gegenüberliegenden Wand.

Bei Abend läßt sich die Prismenablenkung recht gut zeigen, wenn man etwa 1m von einer Kerzen- oder Lampenflamme eine Tafel Pappe senkrecht

aufstellt, die in der Höhe der Flamme eine runde Oeffnung von etwa 2^{cm} Durchmesser hat und wieder 1^{m} von dieser den in §. 38 beim Schatten besprochenen Papierschirm. Das Prisma stellt man, mit der brechenden Kante nach oben, mittelst eines Retortenhalters dicht hinter der Oeffnung der Papptafel auf, Fig. 262. Ehe dasselbe an seiner Stelle ist, geht das durch die Oeffnung fallende Licht geradlinig weiter und bringt auf dem durchscheinenden Schirm bei a einen hellen Fleck hervor; sobald man das Prisma an seine Stelle bringt, wird das Licht nach unten abgelenkt und erzeugt den hellen Fleck bei b, anstatt bei a. Ist der durchsichtige Schirm 1^{m} von dem Prisma entfernt, so beträgt bei einem Wasserprisma, dessen brechende Flächen einen Winkel von 10° miteinander machen, die Verschiebung des Lichtflecks

Fig. 263.



a. P. nat. Gr.

auf dem Schirme etwa $5^{cm},8$; bei einem brechenden Winkel von 20° beträgt sie etwa $11^{cm},1$; bei Glasprismen ist sie um etwas mehr als die Hälfte größer, als bei Wasserprismen von gleichem, brechenden Winkel.[45]

Billige Glasprismen kommen im Handel fast nur von gleichseitig dreieckigem Querschnitt, also mit brechenden Winkeln von 60° vor und bestehen meist aus sehr ungleichmäßigem Glase, so daß sie das durchgehende Licht unregelmäßig ablenken. Außerdem zeigen Glasprismen mit so großem brechenden Winkel sehr stark die im nächsten §. zu besprechende Farbenzerstreuung und eignen sich darum wenig zu den

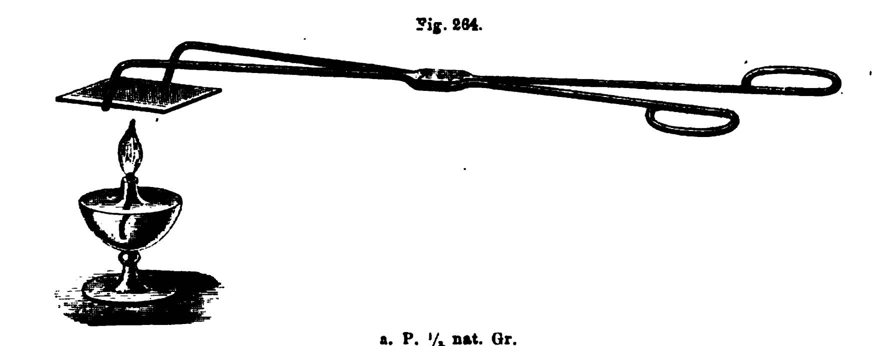
---

[45] Die Gesetze, nach denen die Ablenkung eines Lichtstrahls sich richtet, sind zu verwickelt, um hier genau auseinander gesetzt zu werden. Die Ablenkung ist nicht dem brechenden Winkel genau proportional, besonders dann nicht mehr, wenn der brechende Winkel groß ist; ein Prisma von doppelt so großem Winkel, als ein anderes, bringt immer eine mehr als doppelt so starke Ablenkung hervor, als jenes. Auch ist die Größe der Ablenkung nicht blos von der Gestalt und dem Stoffe eines Prisma abhängig, sondern auch von der Lage desselben gegen die Lichtstrahlen; in jedem anderen Falle ist die Ablenkung etwas größer, als wenn der Lichtstrahl mit beiden brechenden Flächen gleiche Winkel macht, wie es in Fig. 261 angenommen ist.

hier besprochenen Versuchen; zu denen man lieber Wasserprismen mit mäßig großen, brechenden Winkeln nimmt. Solche Wasserprismen lassen sich auf verschiedene Weise ziemlich leicht herstellen.

Man läßt sich vom Tischler ein Brettchen von hartem Holze keilförmig zurecht hobeln, Fig. 263 A, etwa 5^{cm} lang und breit und an einer Seite ganz dünn, an der anderen 9 bis 18^{mm} dick. Mittelst des Centrumbohrers bohrt man mitten durch ein Loch, das man mit Hülfe einer Lochsäge (d. i. ein langes, schmales, aber ziemlich starkes Sägeblatt, wie eine Feile in einem Heft befestigt) oder eines scharfen Messers beliebig erweitert und schließlich mit einer halbrunden Raspel und Feile wieder ordentlich ausrundet. Der Raum dieses Loches soll mit Wasser ausgefüllt werden. Um das Prisma bequem im Retortenhalter befestigen zu können, versieht man es mit einem hölzernen Stiel s, den man in die der brechenden Kante gegenüberliegende Seite des Brettchens einsetzt. Das zu diesem Zwecke mit einem starken Nagelbohrer gebohrte Loch darf nicht bis zu der für das Wasser bestimmten Höhlung durchgehen, wenn man den Stiel einleimen will; hat man zu tief gebohrt, so muß man ihn mit Siegellack einkitten. Zum späteren Einfüllen des Wassers dient ein enges Loch a, das man in eine der dreieckigen Seiten des Brettchens mit einem ganz feinen Nagelbohrer bohrt oder mittelst eines glühenden Drahtes durchbrennt; es soll womöglich nicht über 2^{mm} weit sein. Die brechenden Flächen des Prisma werden durch dünne Glastafeln gebildet, die man mit Siegellack auf die breiten Seiten des Brettchens kittet; die Glasstücke läßt man entweder viereckig beim Glaser schneiden oder sprengt sie mit Sprengkohle rund und schleift sie am Rande etwas ab. Auf die Seiten des Brettchens trägt man einen dünnen Rand von in

Fig. 264.



a. P. 1/4 nat. Gr.

der Lampe erweichten Siegellack auf, erwärmt dann eine Glasplatte, die man mit einer aus starkem Draht bestehenden, vorn umgebogenen Zange (Tiegelzange) faßt (Fig. 264) unter vorsichtigem Hin- und Herbewegen über einer Flamme soweit, daß sie beim Berühren des Siegellacks dieses zum Schmelzen bringt, drückt sie auf den Siegellackrand auf und verfährt nach dem Erkalten mit der anderen Platte in gleicher Weise. Man muß darauf achten, daß die Platte langsam und nicht unnöthig stark erwärmt wird und daß man sie gleich richtig auf das mit Siegellack bestrichene Brettchen auflegt, damit sie sich an dem Theile, durch den man hindurchsehen will, nicht mit Siegellack beschmuzt, das man, wenigstens nach dem Aufkitten der zweiten Platte, nicht mehr entfernen kann. Auch müssen alle von der Bearbeitung des Holzes herrührenden Spähnchen vor dem Aufkitten der Glasplatten sorgfältig entfernt werden, da man sie durch die enge Oeffnung a nicht herausbekommen kann. Das Einfüllen des Wassers geschieht mit Hülfe eines 15^{cm} langen, bleistiftsdicken Glasrohres, das man an einem Ende lang und dünn ausgezogen hat und das wie eine Pipette vollgesaugt wird; man führt die Spitze durch die enge Bohrung in's Innere des Prisma ein und treibt durch Hineinblasen in das weitere Ende des Rohrs das Wasser durch die Spitze heraus; das Verfahren wird wiederholt, bis das Prisma voll ist. Dabei muß man dieses so halten, daß die kleine Oeffnung nach

oben liegt, damit die von dem Wasser verdrängte Luft entweichen kann. Die kleine Oeffnung wird nicht verschlossen; das Wasser bleibt, durch den Luftdruck gehalten, von selbst in dem Prisma; will man dieses entleeren, so saugt man das Wasser mittelst der beim Füllen benutzten Röhre heraus.

Nach gemachtem Gebrauche ist die sofortige, möglichst vollkommene Entleerung rathsam, weil sonst das Wasser zu sehr in's Holz eindringt und dieses verquillt. Macht sich zum Zwecke einer Reinigung ein Loskitten der Glasplatten nöthig, so erwärme man sehr vorsichtig, weil die nassen Platten leicht springen und lasse das Holz erst vollkommen austrocknen, ehe man das Ganze wieder zusammensetzt.

Von einem dichten, recht großen Kork (einem sogenannten Spundkork) kann man eine 3 bis 5^{cm} im Durchmesser haltende, kreisrunde, 15 bis 20^{mm} dicke Scheibe abschneiden und diese ähnlich wie das vorbeschriebene Brettchen benutzen; man schneidet und feilt die Flächen schief, aber recht gut eben, durchbohrt von einer Fläche zur anderen, erweitert das Loch zu einer genügend großen Höhlung, so daß nur ein Ring von Kork übrig bleibt, Fig. 263 B; derselbe soll an der oberen Seite 5, an der unteren 15 bis 20^{mm} dick sein. Der dünnsten Stelle dieses Ringes gegenüber bohrt man ein Loch für den mit Siegellack einzukittenden Stiel s; die Füllöffnung a muß man bei Kork jedenfalls einbrennen. Die Glasplatten macht man bei einem solchen Prisma natürlich rund.

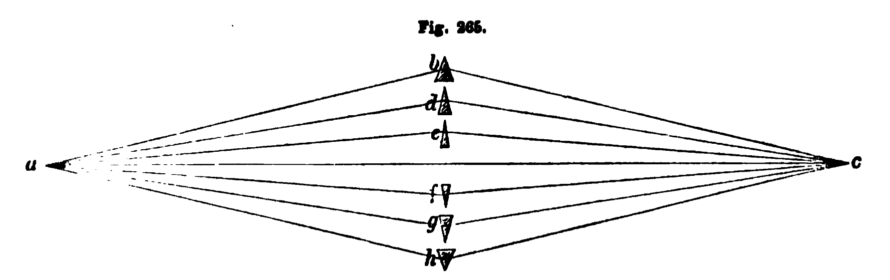
Zu den Glasplatten nimmt man recht schönes, ebenes Fensterglas (womöglich sogenanntes rheinisches Tafelglas) oder noch besser dünnes Spiegelglas.

Schönere und dauerhaftere Flüssigkeitsprismen als aus Glas und Holz oder Kork erhält man ganz aus Glas, ihre Herstellung ist im nächsten §. beschrieben.

Jedenfalls wird man sich zwei Prismen mit verschieden großem, brechenden Winkel herstellen, um den Einfluß dieses Winkels auf die Größe der Ablenkung beobachten zu können.

In Fig. 265 sei b ein kleines Glasprisma, welches den von a kommenden Lichtstrahl so bricht, daß er nach c geht. Das Prisma d hat einen

Fig. 265.

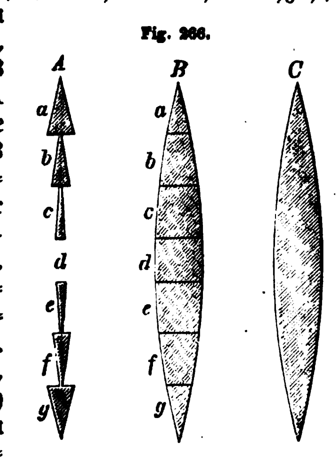


kleineren brechenden Winkel, als b, es bewirkt also eine schwächere Ablenkung, als d. Ist der brechende Winkel von d passend gewählt, so wird der von a nach d gehende Lichtstrahl so gebrochen werden, daß er ebenfalls nach c geht und dasselbe wird mit dem von a nach e gehenden Lichtstrahl geschehen, wenn der brechende Winkel von e ebenfalls die richtige Größe hat; er muß noch kleiner sein, als der von d. Die 3 mit der brechenden Kante nach oben liegenden Prismen lenken die Strahlen nach unten ab, drei andere, mit der brechenden Kante nach unten liegende Prismen f, g und h werden bei passender Größe die von a auf sie fallenden Lichtstrahlen derart nach oben ablenken, daß sie ebenfalls nach c gelangen. Endlich gelangt der von a aus mitten zwischen den innersten Prismen durchgehende Strahl ungebrochen nach c; es lassen sich also durch zweckmäßig angeordnete Prismen eine ganze Anzahl von Lichtstrahlen, die ursprünglich von einem Punkte (a) ausgegangen sind, wieder nach einem Punkte (c) vereinigen.

Sowie man aber übereinander eine Reihe Prismen aufstellen könnte, so ließen sich auch in wagrechter Richtung nebeneinander solche Prismen aufstellen (Fig. 265 kann auch als Grundriß einer solchen wagrechten Reihe angesehen werden) und andere solche Reihen könnte man in verschiedenen schiefen Richtungen aufstellen, alle so, daß sie sich um denselben Mittelpunkt gruppiren; diese sämmtlichen Prismen würden dann das von a auf sie fallende Licht nach c gelangen lassen.

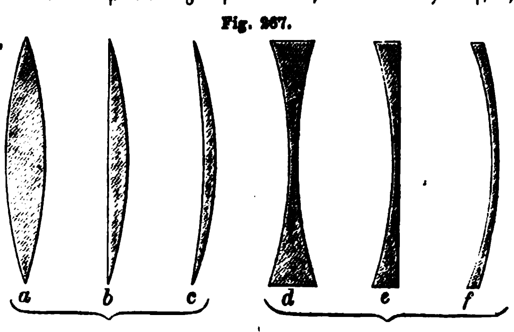
Da die Ablenkung, welche ein Lichtstrahl erleidet, nur abhängt von dem Winkel, welchen zwei Flächen miteinander machen, durch die er hindurchgeht, nicht aber von dem Abstande dieser beiden Flächen voneinander, so ist weiter einzusehen, daß ein Glasstück von der Form Fig. 266 B ganz ähnlich wirken wird, wie die in Fig. 266 A gezeichnete Prismenzusammenstellung. Die oberste und unterste Abtheilung a und g in B ist den gleichbezeichneten Prismen in A vollkommen gleich; die brechenden Flächen der Stücke b und f (Fig. B) stehen weiter voneinander ab, haben aber ganz dieselbe Neigung, wie die brechenden Flächen der gleichbezeichneten Prismen (Fig. A); sie bewirken also dieselbe Ablenkung der durchgehenden Lichtstrahlen. Die Stücke c und e in Fig. B sind viel dicker, als die Prismen c und e in Fig. A, aber auch hier ist die Neigung der brechenden Flächen gegeneinander die nämliche und deshalb die Ablenkung durchgehender Lichtstrahlen gleich. Das Mittelstück d in Fig. B hat parallele Wände und läßt einen rechtwinkelig gegen diesen auffallenden Lichtstrahl ungebrochen durchgehen; es bewirkt so wenig eine Ablenkung, wie der leere Raum d in der Mitte von Fig. A.

Fig. 266.



Der Zweck, von einem Punkte ausgegangenes Licht durch Brechung möglichst vollständig wieder in einem Punkte zu sammeln, wird noch besser, als durch eine Anzahl Prismen von verschiedenem brechenden Winkel, erreicht durch eine gläserne Linse, Fig. 266 C, d. i. ein Glasstück mit schwach gewölbten Flächen, welches man als eine Aneinanderreihung unendlich vieler unendlich kleiner Prismen ansehen kann, von denen jedes immer nur einen unmerklich kleineren oder größeren brechenden Winkel hat, als das nächstliegende.

Fig. 267.



Solche Linsen heißen wegen ihrer Wirkung Sammellinsen, wegen ihrer Form Convexlinsen. Nicht jede Convexlinse braucht auf beiden Seiten gewölbt (biconvex) zu sein, wie Fig. 266 C. oder Fig. 267 a; es giebt auch Convexlinsen, die auf einer Seite eben und nur auf der anderen gewölbt sind (planconvexe L.), Fig. 267 b und solche, die auf einer Seite

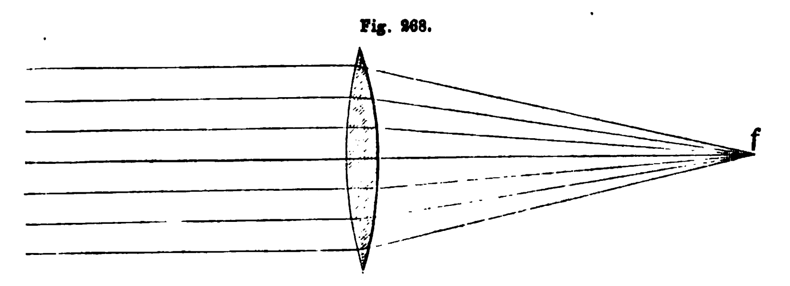
schwach hohl, auf der anderen stärker convex sind (concavconvexe L.), Fig. 267 c. Die verschiedenen Arten der Convexlinsen stimmen darin überein, daß sie alle in der Mitte dicker sind, als am Rande.

Obgleich der Name Linse ursprünglich nur der Form der Convexlinsen, insbesondere der biconvexen, entspricht, braucht man ihn doch auch für Glasstücke mit kugelig vertieften Flächen, die Concavlinsen oder Zerstreuungslinsen heißen. Fig. 267 d ist der Durchschnitt einer biconcaven, e der einer planconcaven, f der einer convexconcaven Linse; alle Concavlinsen sind am Rande dicker, als in der Mitte.[46]

Eine gerade Linie, welche durch die Mitte einer Linse geht und auf beiden Flächen derselben senkrecht steht, heißt die Axe; die Axe geht auch durch die Krümmungsmittelpunkte der Linsenflächen.

Die Vorrichtung Fig. 265 ist nur im Stande, die dort gezeichneten 7 Strahlen in dem Punkte c zu vereinigen; ein Strahl, welcher von a ausgehend den obersten Theil des kleinen Prisma b träfe, würde etwas oberhalb des Punktes c vorbeigehen, ein Strahl, welcher den untersten Theil desselben Prisma träfe, etwas unterhalb c. Sollten auch diese Strahlen genau nach c kommen, so müßte der obere etwas mehr, der untere etwas

Fig. 268.



weniger abgelenkt werden, d. h., die Flächen des kleinen Prisma müßten oben etwas mehr, unten etwas weniger gegeneinander geneigt sein. Eine solche allmählige Aenderung der Neigung der brechenden Flächen gegeneinander ist nun eben das, was man durch die Linsenform erreicht und eine genau geschliffene Convexlinse vereinigt in der That alle Strahlen, welche von einem Punkte in der Axe oder in der Nähe der Axe auf sie fallen, wieder in einem Punkte, wenn der leuchtende Punkt nicht zu nahe an der Linse liegt.

Der Punkt, nach welchem parallel mit der Axe auffallende Strahlen gebrochen werden, in Fig. 268 der Punkt f, wird, wie beim Concavspiegel, Brennpunkt oder Focus genannt. Brennweite heißt der Abstand desselben vom Mittelpunkt der Linse.[47] Gehen umgekehrt Strahlen vom Brennpunkt aus, so werden sie beim Durchgang durch die Linse so ge-

---

[46] Von den Spiegeln waren es die concaven, welche das Licht sammeln, von den Linsen sind es die convexen.

[47] Während bei den Spiegeln die Brennweite nur von dem Krümmungshalbmesser abhängt, ist sie bei den Linsen auch von der Natur des Glases abhängig. Bei gewöhnlichen, biconvexen Glaslinsen mit beiderseits gleich starker Krümmung ist die Brennweite nicht ganz so groß, bei planconvexen nicht ganz doppelt so groß, als der Krümmungshalbmesser.

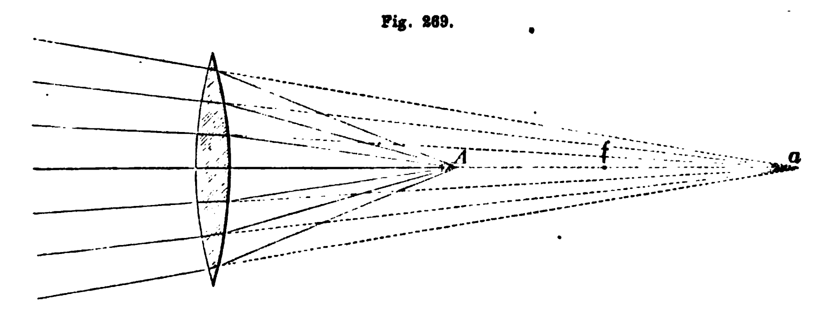
brochen, daß sie parallel der Axe fortgehen; diese Strahlen werden also nach dem Durchgang durch die Linse nicht mehr in einem Punkte vereinigt.

Liegt ein leuchtender Punkt der Linse noch näher, als der Brennpunkt, wie z. B. der Punkt A in Fig. 269, in der f der Brennpunkt ist, so daß die von diesem Punkte auf die Linse fallenden Strahlen sehr stark auseinander gehen, so vermag die Linse nicht mehr, diese Strahlen nach einem Punkte zusammenzubrechen oder auch nur sie parallel zu machen; die Strahlen gehen noch nach dem Durchgang durch die Linse auseinander, aber nicht mehr so stark, als vorher; die von A Fig. 269 herkommenden Strahlen laufen nach dem Durchgang durch die Linse so, als ob sie herkämen aus dem Punkte a.

Durch die Brechung in Linsen entstehen ebenso gut, wie durch die Reflexion in gekrümmten Spiegeln, optische Bilder von leuchtenden Punkten und Gegenständen; es treten auch hier ganz dieselben Verschiedenheiten der reellen und virtuellen Bilder auf; a Fig. 269 ist ein virtuelles Bild von A.

Um die Lage, Stellung und Größe der Linsenbilder in ähnlicher Weise, wie die der Spiegelbilder zu bestimmen, muß man außer den beiden besprochenen Sätzen — daß alles von einem Punkte in der Nähe der Axe

Fig. 269.



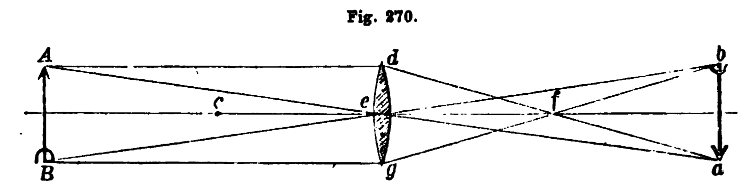
kommende Licht so gebrochen wird, daß es nach einem Punkte in der Nähe der Axe zusammenläuft oder scheinbar von einem solchen Punkte auseinanderfährt und daß parallel zur Axe auffallende Lichtstrahlen nach dem Brennpunkt, vom Brennpunkt ausgehende Strahlen parallel zur Axe gebrochen werden — noch berücksichtigen, daß solche Strahlen, welche die Mitte einer Linse treffen, ohne Richtungsänderung durch dieselbe hindurchgehen, weil in der Mitte jeder Linse die beiden Flächen derselben einander parallel sind und deshalb der Lichtstrahl zweimal nach entgegengesetzter Richtung gebrochen wird. Die seitliche Verschiebung, welche ein Strahl dabei erleidet (vergl. Fig. 259, S. 287), kann man dabei ganz vernachlässigen, weil sie nur dann erheblich ist, wenn der Strahl sehr schräg durch eine sehr dicke Glasmasse hindurchgeht, bei den Linsenbildern aber nur Strahlen in Betracht kommen, welche von Punkten in nicht zu großer Entfernung von der Axe herkommen und also nur wenig schräg auf die Mitte der Linse treffen.

In Fig. 270 sei A B ein Gegenstand, welcher um die doppelte Brennweite von einer Linse absteht; f ist der Brennpunkt für die von links kommenden Strahlen; für Strahlen, welche von rechts kämen, würde c der Brennpunkt sein. Der von A aus parallel zur Axe gehende Strahl A d wird durch den Brennpunkt f gebrochen und geht also in der Richtung d f a fort; der von A auf die Linsenmitte treffende Strahl a e geht mit unver-

änderter Richtung durch; beide Strahlen treffen in a wieder zusammen und ebenda vereinigen sich auch alle anderen, von A nach der Linse gelangten Strahlen, a ist das Bild des Punktes A. In ähnlicher Weise ergeben die Strahlen B g f b und B e b den Punkt b als das Bild von B; a b ist ein reelles, verkehrtes Bild von A B, beide sind gleich groß und liegen gleich weit von der Linse entfernt.

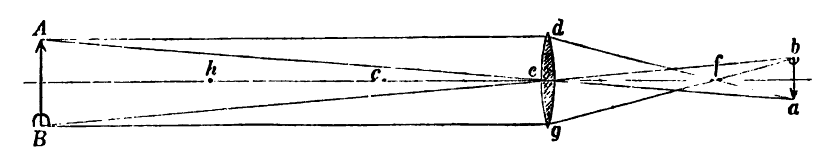
Es fällt sofort in die Augen, daß das Bild, welches eine Linse von einem um die doppelte Brennweite entfernten Gegenstand giebt, in fast allen

Fig. 270.



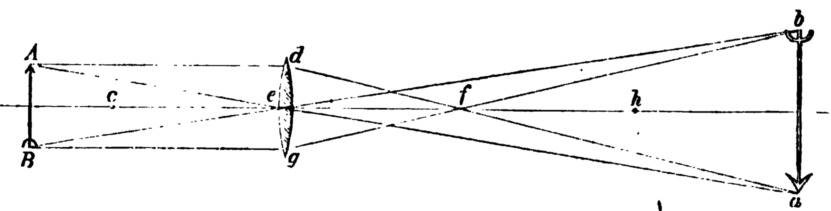
Punkten mit dem bei gleichem Abstand von einem Hohlspiegel gelieferten Bilde übereinstimmt; der einzige Unterschied ist, daß Bild und Gegenstand auf verschiedenen Seiten der Linse, aber auf einer und derselben Seite des Spiegels liegen.

Fig. 271.



Ganz ähnliches findet nun bei anderen Abständen eines Körpers von einer Convexlinse statt; immer sind Stellung, Größe und Entfernung der Bilder so, wie bei einem Hohlspiegel unter gleichen Verhältnissen, immer

Fig. 272.



aber liegen auch die Bilder bei der Linse auf der entgegengesetzten Seite, wie bei dem Spiegel.[48]

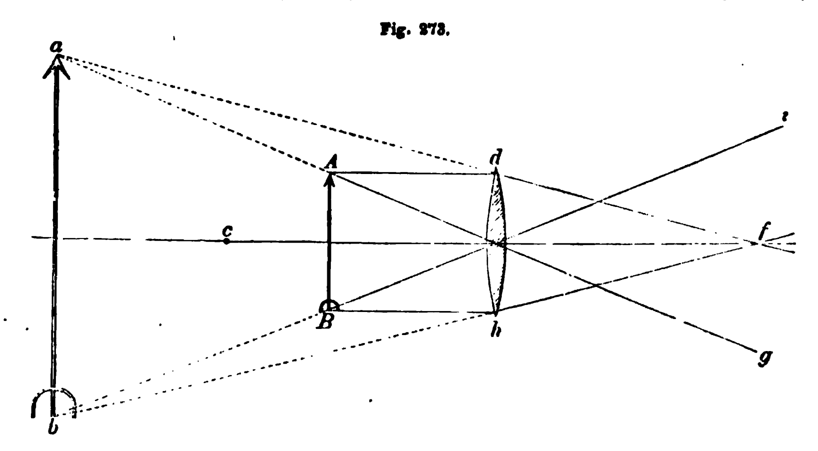
Fig. 271 erläutert die Entstehung des verkleinerten Bildes bei einem Abstande des Gegenstandes, der größer ist, als die doppelte Brennweite, Fig. 272 die des vergrößerten Bildes bei einem Abstande, der kleiner, als die doppelte und größer, als die einfache Brennweite ist; h ist in beiden

[48] Die Entfernung eines Bildes von einer Linse wird ganz nach denselben Regeln berechnet, wie die Entfernung des Bildes von einem Hohlspiegel, vgl. S. 281, Anm. 42. Auch die Größen der Bilder sind auf ähnliche Weise zu berechnen. Beim Spiegel verhalten sich die Größen von Bild und Gegenstand wie die Entfernungen vom Krümmungsmittelpunkt, bei der Linse wie die Entfernungen von der Linsenmitte.

Figuren ein um die doppelte Brennweite von der Linse entfernter Punkt, die anderen Buchstaben haben ganz dieselbe Bedeutung, wie in Fig. 270.

Die Punkte c und f sind für die in Fig. 273 dargestellte Linse die Brennpunkte für von rechts und von links kommende Strahlen, A B ist also ein um weniger, als die Brennweite von der Linse entfernter Gegenstand. Die von dem Punkte A ausgehenden Strahlen A d und A g gehen in den Richtungen d f und A g fort, sie schneiden sich also nicht, sondern laufen so auseinander, als ob sie aus dem Punkte a kämen, a ist das virtuelle Bild von A und ebenso geben die Strahlen B h f und B i den Punkt b als Bild von B, das ganze Bild a b ist virtuell, aufrecht und vergrößert; es liegt mit dem Gegenstand auf einer und derselben Seite der Linse (beim Hohlspiegel liegen vergrößertes, virtuelles Bild und Gegenstand auf verschiedenen Seiten des Spiegels) und kann nur von einem Auge gesehen

Fig. 273.



werden, welches die durch die Linse gegangenen Strahlen unmittelbar auffängt oder, mit anderen Worten, welches durch die Linse hindurchsieht, in unserer Figur müßte sich das Auge rechts von der Linse befinden.

Wie die Spiegel, so dürfen auch die Linsen nicht zu stark gewölbt sein, wenn dieselben gute Bilder geben sollen, doch können die Linsen schon beträchtlich stärkere Wölbung vertragen. Dagegen genügt es für eine gute Linse nicht, wenn nur ihre Flächen richtig geschliffen sind, es muß auch das Glas, aus dem sie besteht, ein sehr gleichmäßiges sein. Linsen, die mit der größten, möglichen Sorgfalt hergestellt sind, haben einen sehr hohen Preis; eine einfache Biconvexlinse von 6^{cm} Durchmesser kann 8 bis 10 Thaler kosten, während die ganz roh gearbeiteten Linsen, die als Brenngläser benutzt werden, bei gleicher Größe kaum halb so viele Groschen kosten.

Wenn es sich nur darum handelt, die verschiedenen Arten von Bildern kennen zu lernen, welche eine Convexlinse geben kann, so würde es vollkommen überflüssig sein, eine kostbare Linse anzuschaffen, wie sie in guten Fernrohren Verwendung finden; es reicht vielmehr vollkommen aus, eine Linse von der Art der besseren Guckkastengläser und (für die späteren Versuche) noch einige kleinere Linsen zu haben.

Für unsere Versuche ist eine biconvexe Linse von 6^{cm} Durchmesser angenommen, deren beide Flächen einen Krümmungshalbmesser von 30^{cm} besitzen und deren Brennweite 28^{cm} beträgt, sie ist in der Mitte etwa 3^{mm} dicker, als am Rande; es kann aber auch jede andere, nicht zu kleine und nicht zu stark gewölbte Linse dienen.

In ein kreisförmiges Pappstück von 15 bis 20^{cm} Durchmesser, welches so dick ist, wie der Rand der Linse, schneidet man in der Mitte ein kreisförmiges Loch von

solcher Größe, daß die Linse gerade hineinpaßt, ohne darin einen freien Spielraum zu haben, aber auch ohne sich zu klemmen. Ferner schneidet man zwei Ringe aus Pappe, deren innerer Durchmesser etwas kleiner ist ($5^{cm},6$ bis $5^{cm},8$), als die Linse, deren äußerer ohngefähr 9^{cm} beträgt. Den einen Ring leimt man auf eine Seite des größeren Pappstücks so auf, daß er um das Loch einen Rand bildet, der nach innen 1 bis 2^{mm} vorsteht und verhindert, daß die in das Loch gelegte Linse nach dieser Seite herausfallen kann; den zweiten Ring befestigt man auf der anderen Seite des Pappstücks, aber nicht mit Leim, sondern mit drei bis vier Copirzwecken oder mit einigen kleinen Siegellacktupfen, damit man ihn leicht wieder ablösen kann, wenn man die Linse aus ihrer Fassung nehmen will.

Bei den Versuchen klemmt man den runden Pappschirm, in dem sich die Linse befindet, in der Gabel eines Retortenhalterarmes ein und dreht diesen so, daß die Linse senkrecht steht; als leuchtender Gegenstand dient wieder eine Kerzenflamme, zum Auffangen des Bildes der beim Schatten besprochene Papierschirm. Der breite Rand der Pappfassung an der Linse hat den Zweck, den Theil des Schirmes rund um das Bild herum zu beschatten, weil man das Bild viel deutlicher sieht, wenn seine Umgebung dunkel, als wenn sie beleuchtet ist. Die Linse muß bei den Versuchen zwischen dem Schirm und der Kerze stehen, da die reellen Linsenbilder immer auf der dem Gegenstand entgegengesetzten Seite der Linse liegen. Deutliche Bilder entstehen nur, wenn die Richtung der auf die Linse fallenden Strahlen nicht sehr von der Linsenaxe abweicht, man achte also darauf, daß sich die Linse in gleicher Höhe mit der Kerzenflamme befindet und daß die Pappfassung auf der Linie von der Kerze nach dem Linsenmittelpunkte rechtwinkelig steht. (Hat man ein deutliches Bild bekommen und dreht die Linse nur wenig aus der richtigen Lage heraus, so sieht man das Bild sofort viel schlechter werden).

Bei einer Linse von 28^{cm} Brennweite muß man die Kerze 56^{cm} weit von der Linse und ebenso weit von dieser nach der anderen Seite den Papierschirm aufstellen, um das verkehrte Bild in natürlicher Größe zu erhalten[49]; entfernt man den Schirm weiter von der Linse, so muß man die Kerze nähern, um wieder ein deutlich begrenztes Bild zu erhalten, das dann vergrößert ist; entfernt man die Kerze, so muß man den Schirm nähern und erhält ein verkleinertes Bild. Wie beim Spiegel kann man ein stark vergrößertes oder stark verkleinertes Bild erhalten, indem man das Bild der Kerze auf der Wand oder das Bild eines Fensters auf dem Schirme auffängt.

Eine um weniger, als die Brennweite von dem Gegenstande entfernte Convexlinse benutzt man sehr häufig als Vergrößerungsglas. Das aufrechte, virtuelle Bild, welches man erblickt, wenn man durch die Linse nach dem Gegenstande sieht, ist um so stärker vergrößert, je kleiner die Brennweite der Linse ist. Das Bild, welches unsere Linse von 30^{cm} Brennweite giebt, ist nur wenig vergrößert, bei der günstigsten Stellung der Linse noch nicht auf das Doppelte; dagegen giebt eine Linse von 3^{cm} Brennweite ein etwa 8mal vergrößertes Bild, wenn man sie dicht an das Auge hält und dann den zu betrachtenden Gegenstand der Linse so weit nähert, daß man das Bild scharf erkennt; den Gegenstand für diesen Zweck nehme man nicht groß, weil man ihn sonst nicht gut übersieht; der Querschnitt eines spanischen Rohres

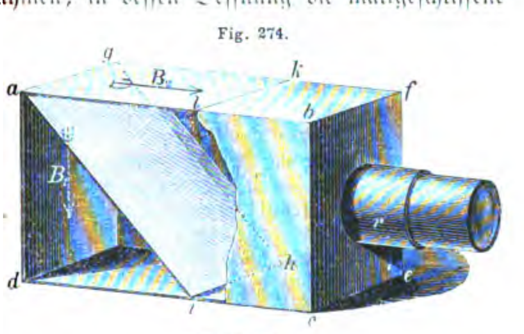
---

[49] Kennt man die Brennweite einer Linse nicht, so erfährt man sie leicht auf folgende Weise: Man stellt eine Kerze in ohngefähr 1^{m} Entfernung von der Linse auf und verschiebt einen Papierschirm auf der andern Seite der Linse so lange, bis er ein scharf begrenztes Bild der Flamme giebt, dann mißt man die Abstände der Kerze und des Schirmes genau, dividirt mit jeder der beiden Zahlen in 1, addirt die beiden Quotienten und dividirt mit der Summe wieder in 1; der letzte Quotient ist die Brennweite. Beträgt beispielsweise der Abstand der Kerze 95^{cm}, der des Schirmes 58^{cm}, so hat man $\frac{1}{95} = 0{,}01053$ und $\frac{1}{58} = 0{,}01724$; ferner $0{,}01053 + 0{,}01724 = 0{,}02777$ und endlich die Brennweite $= \frac{1}{0{,}02777} = 36^{cm}{,}01$, also ziemlich genau $= 36^{cm}$.

eignet sich recht wohl, man erkennt in dem vergrößertem Bilde sehr bequem die röhrenförmigen Höhlungen. Linsen von kleiner Brennweite, die als Vergrößerungsgläser dienen, nennt man gewöhnlich Lupen; solcher Lupengläser braucht man zwei für die späteren Versuche zur Erläuterung des Fernrohrs.

Um deutlich sichtbare, reelle Bilder von solchen Gegenständen zu erhalten, welche nicht sehr hell sind, also von gewöhnlichen, vom Tageslichte erhellten Körpern, wendet man eine Vorrichtung an, welche von der zum Auffangen der Bilder dienenden Fläche alles fremde Licht abhält, d. h. alles Licht, das von andern, als den Körpern kommt, welche sich auf der Fläche abbilden sollen. Eine solche Vorrichtung heißt Camera obscura (Dunkelkammer), sie findet sehr vielfache Anwendung in der Photographie und kann leicht bei einem Photographen in Augenschein genommen werden. Beim Photographiren fängt man das (gewöhnlich verkleinerte) reelle Bild auf einer Glastafel auf, die mit eigenthümlichen Stoffen überzogen ist, welche durch die Einwirkung des Lichtes eine bleibende, chemische Veränderung erfahren und zur Hervorbringung des photographischen Bildes dienen; ehe aber diese chemisch vorgerichtete Platte in die Camera gebracht werden kann, setzt man an die für sie bestimmte Stelle eine mattgeschliffene Glastafel, um zu finden, welche Entfernung man der Linse geben muß, damit auf der Glastafel ein scharf begrenztes Bild entsteht. Die photographische Camera obscura ist ein viereckiger Kasten, von welchem vier Wände gewöhnlich wie die einer Ziehharmonika gearbeitet sind, um ihn verlängern und verkürzen zu können; die Vorderwand ist von Holz und hat in der Mitte ein Rohr mit der Linse; die Hinterwand bildet einen Rahmen, in dessen Oeffnung die mattgeschliffene oder die chemisch vorgerichtete Glastafel eingesetzt wird. Man setzt zuerst die matte Glastafel ein, richtet dann die Linse (das sogenannte Objectiv) der Camera nach dem abzubildenden Gegenstande, bringt den Kopf in eine Entfernung von 15 bis 20cm hinter die Glastafel, deckt über den Kopf und den hinteren Theil der Camera ein dickes, undurchsichtiges Tuch und verlängert oder verkürzt nun den Kasten, bis man auf der Glastafel ein ziemlich deutliches Bild des Gegenstandes erblickt; die volle Schärfe giebt man dem Bilde, indem man das die Linse tragende Messingrohr nach Bedürfniß noch ein wenig verlängert oder verkürzt. Zu diesem Behufe ist das Rohr aus zwei ineinander passenden Stücken zusammengesetzt, deren inneres mit Hülfe einer Zahnstange und eines gezahnten Rädchens mit großem Griff sanft hin- und hergeschoben werden kann. Das Objectiv der photographischen Camera ist in Wirklichkeit nicht eine einzige Linse, sondern eine Zusammenstellung mehrerer Linsen, die aber ganz ähnlich wirkt; will man nur ein sichtbares Bild erzeugen, nicht wirklich photographiren, so genügt eine einzelne Linse.

Fig. 274.



a. P. ⅓ nat. Gr.

Die verkehrte Lage der reellen Bilder stört einigermaaßen die Betrachtung; man kann aber eine Camera so einrichten, daß sie die Bilder auf einer wagrechten Fläche giebt und deshalb für die bloße Betrachtung oder

für das Nachzeichnen bequemer ist. Eine solche Camera, die man sich bei einigem Geschick oder mit Hülfe eines Buchbinders verhältnißmäßig billig herstellen kann, zeigt Fig. 274. Ein viereckiger Kasten a b c d e f g — die Wand a b c d ist in der Figur zum größten Theil weggelassen, um die innere Einrichtung sehen zu lassen — hat in seiner Vorderwand ein Rohr r, in welchem mit mäßiger Reibung ein zweites Rohr mit der Linse verschoben werden kann. Im hintern Theile des Kastens befindet sich der schräge Spiegel a g h i; der Theil a g k l der oberen Wandung des Kastens ist durch eine Glastafel gebildet, welche entweder matt geschliffen ist oder mit durchscheinendem Papier überzogen wird. Wenn der Spiegel nicht da wäre, würden die durch das Rohr r und die Linse in den Kasten fallenden Strahlen ein Bild B_1 des in einiger Entfernung von der Linse befindlichen Gegenstandes erzeugen; durch den Spiegel werden die Strahlen so nach oben reflectirt, daß anstatt des Bildes B_1 das Bild B_2 auf der Glastafel entsteht.

Um das Bild bequem zu sehen, stellt man sich hinter die Camera obscura, biegt den Kopf etwas über die Glastafel und deckt über Kopf, Schultern und den Kasten (mit Ausnahme des Rohres) ein dickes Tuch; das innere der beiden Rohre verschiebt man so lange, bis das Bild deutlich ist.

Um unsere Linse von 28^{cm} Brennweite verwenden zu können, wird der Kasten 23^{cm} lang, 15^{cm} breit und hoch gemacht; die Glasplatte (ein Stück recht ebenes Fensterglas) ist 15^{cm} lang und breit, so daß sich an dieselbe noch ein 8^{cm} langes Stück undurchsichtiger Kastenwand anschließt. Der Spiegel, welcher einen Winkel von $45°$ mit der hinteren Kastenwand macht, ist 15^{cm} breit und $21^{cm},2$ lang; er wird gehalten durch vier 1^{cm} breite Leistchen von Holz oder Pappstreifen, die man zu je zweien so an eine Seitenwand des Kastens anleimt, daß sie um die Dicke des Spiegels von einander abstehen und dieser sich (vor dem Anbringen der Glasplatte) von oben zwischen sie hineinschieben läßt. Der Kasten kann von Holz oder starker Pappe gemacht werden; die Röhren macht man jedenfalls von Pappe. Ueber ein 6^{cm} dickes, rundes Holzstück formt man ein 10^{cm} langes Rohr, in welches die Linse eben hineingeht, ein zweites Rohr von nur 5^{cm} Länge wird über das erste geformt, so daß sich dieses darin mit nur mäßiger Reibung verschieben läßt: das kurze Rohr wird so in die Vorderwand des Kastens eingeleimt, daß es nach vorn vorsteht. Im vorderen Ende des engeren Rohres befestigt man die Linse zwischen zwei Pappringen, welche man aus 1^{cm} breiten, ohngefähr 18^{cm} langen Pappstreifen zusammen gebogen hat; den einen dieser Ringe leimt man in das Rohr so ein, daß sein vorderer Rand 1^{cm} gegen den Vorderrand des Rohres zurücksteht; an ihn legt man die Linse an und drückt sie durch Hineinschieben des zweiten Ringes fest. Der zweite Ring muß so streng in das Rohr gehen, daß er durch die Reibung genügend festhält; man leimt ihn nicht ein, um die Linse für andere Zwecke leicht wieder aus dem Rohre nehmen zu können.

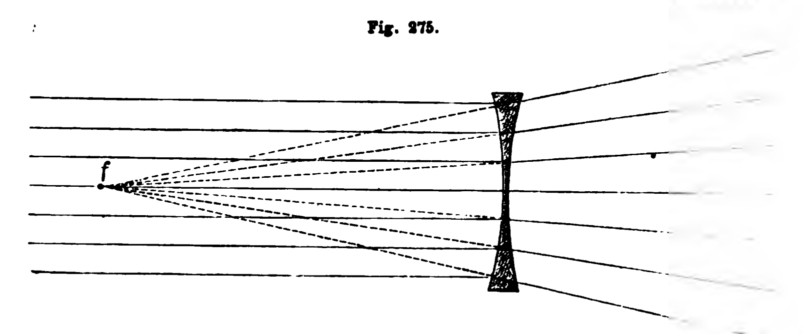
Das engere Rohr und der Kasten werden auf ihrer inneren Fläche mit glanzlosem, schwarzem Papier überzogen.

Ueber die durchsichtige Glasplatte spannt man ein Blatt durchscheinendes Papier; will man die Bilder der Camera obscura mit Bleistift nachzeichnen, so nimmt man Pauspapier, will man sie nur ansehen, so kann man das gewöhnliche Seidenpapier, wie zu dem in §. 38 erwähnten Schirm benutzen.

So wie man eine Convexlinse ansehen kann als zusammengesetzt aus unendlich vielen, kleinen Prismen, deren brechende Kanten von dem Mittelpunkte der Linse weggekehrt sind und die deshalb das Licht nach der Axe der Linse zu brechen, kann man eine Concavlinse betrachten als zusammengesetzt aus vielen kleinen Prismen, welche ihre brechende Kante nach dem Linsenmittelpunkt zukehren und deshalb das Licht von der Axe der Linse weg-

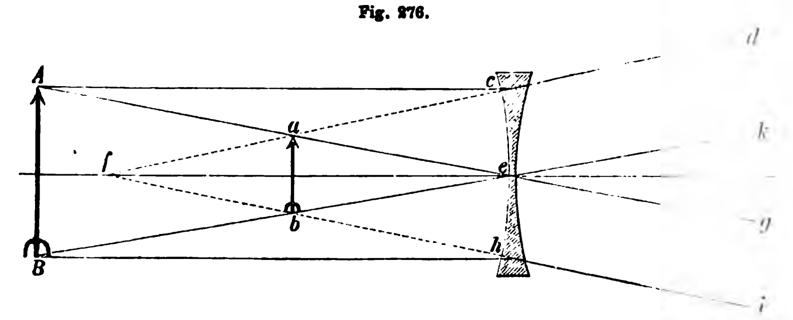
brechen. Wie zwischen Convexlinsen und Concavspiegeln, so zeigt sich eine große Uebereinstimmung zwischen Concavlinsen und Convexspiegeln; Licht, welches parallel zur Axe auf eine Convexlinse fällt, wird so gebrochen, daß die Strahlen nach dem Durchgang durch die Linse auseinanderlaufen, als ob sie aus einem Punkte f (Fig. 275) kämen; dieser Punkt heißt auch hier der Zerstreuungspunkt oder negative Brennpunkt, seine Entfernung von der Linse die Zerstreuungsweite oder negative Brennweite.[50]

Fig. 275.



Eine Concavlinse giebt, wie ein Convexspiegel, von einem Gegenstande immer ein verkleinertes, virtuelles, aufrechtes Bild; die Entfernung des Gegenstandes sei, welche sie wolle. Fig. 276 erläutert die Entstehung eines solchen Bildes. Der von A ausgehende Lichtstrahl A c geht nach dem Durchgange durch die Linse in der Richtung c d fort, als ob er aus f käme; der die Linsenmitte treffende Strahl A e geht in unveränderter Richtung nach g fort, die Strahlen c d und e g bewegen sich so, als ob sie aus a kämen, a ist also das Bild von A und ebenso ergiebt sich b als das Bild von B durch die Verfolgung der Strahlen B h i und B e k.

Fig. 276.



Das verkleinerte, virtuelle Bild einer Concavlinse, welches mit dem Gegenstand auf ein und derselben Seite der Linse liegt, kann ebenso wie das vergrößerte, virtuelle Bild einer Convexlinse nur wahrgenommen werden, wenn man durch die Linse nach dem Gegenstand hin sieht. Das Bild ist um so stärker verkleinert, je kleiner

[50] Von der Zerstreuungsweite gewöhnlicher Glasconcavlinsen gilt dasselbe, was S. 294, Anm. 47 von der Brennweite der gläsernen Convexlinsen gesagt ist. Die Bildweite wird bei den Concavlinsen ganz so berechnet, wie bei den Convexspiegeln, vgl. S. 284, Anm. 43; die Größen von Bild und Gegenstand verhalten sich bei den Concavlinsen ebenso, wie bei den Convexlinsen, d. h. wie die Abstände vom Linsenmittelpunkte.

die Zerstreuungsweite der Linse ist; die Brillengläser, welche Kurzsichtige tragen, sind Concavlinsen und geben Bilder, die ein gewöhnliches gutes Auge deutlich als verkleinert erkennt, besonders wenn das Glas für ein stark kurzsichtiges Auge berechnet und deshalb stark concav ist. Die Zerstreuungsweite der gewöhnlichen Brillengläser beträgt gewöhnlich einige Decimeter, sie verkleinern nur wenig; zu den Versuchen zur Erläuterung des Fernrohrs braucht man eine Concavlinse von etwa 6^{cm} Brennweite, diese giebt ein stark verkleinertes Bild.

41. Farbenzerstreuung, Spectrum. Bei den Versuchen mit dem im vorigen §. beschriebenen Wasserprisma treten gewisse, da nur beiläufig erwähnte Farbenerscheinungen ein, die in geringerem Grade auch bei Glaslinsen bemerklich werden. Ein durch ein Prisma gegangenes Strahlenbündel bringt auf einem Schirm einen nicht ganz weißen, sondern farbig gesäumten Fleck hervor; Gegenstände, welche man durch ein Prisma betrachtet, erscheinen mit etwas verwaschenen, bunten Rändern und ebensolche, nur schmalere und weniger auffällige Ränder zeigen die von Linsen hervorgebrachten Bilder. Es liegt dies daran, daß das gewöhnliche Licht ein Gemisch verschiedenfarbiger Strahlen ist, welche verschieden stark gebrochen werden. Je mehr die durch das Prisma gehenden Strahlen von ihrem natürlichen Wege abgelenkt werden, also je größer der brechende Winkel des Prisma ist, um so mehr werden die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen auseinandergelegt; ein Prisma von 20° brechendem Winkel giebt breitere Farbenräume, als eines von 10°. Von großem Einflusse ist aber auch die Substanz, aus welcher das Prisma besteht. Ein Wasserprisma, dessen brechender Winkel 15° beträgt, lenkt die durchgehenden Lichtstrahlen etwa ebenso viel ab, als ein Glasprisma von 10° brechendem Winkel; die durch beide gesehenen Gegenstände erscheinen gleich weit von ihrer Stelle gerückt, das Glasprisma zeigt aber breitere, bunte Ränder, als das Wasserprisma; der Unterschied in der Ablenkung der verschiedenen Farben ist beim Glas größer, als beim Wasser: man sagt, das Glas hat eine stärkere *Farbenzerstreuung*, als das Wasser. Verschiedene Glassorten erweisen sich in dieser Beziehung noch sehr verschieden, eine eigens zu optischen Zwecken dargestellte Glasart, das *Flintglas*, zeigt eine etwa doppelt so große Farbenzerstreuung, als das gewöhnliche zu optischen Zwecken dienende Glas, welches zum Unterschied von Flintglas *Crownglas* heißt. Eine noch stärkere Farbenzerstreuung, als selbst das Flintglas besitzt eine Flüssigkeit, der *Schwefelkohlenstoff*; ein Schwefelkohlenstoffprisma mit großem brechenden Winkel (45 bis 50°) ist deshalb zu Versuchen über Farbenzerstreuung ganz besonders geeignet.[51]

Eine zweckmäßige Form eines Schwefelkohlenstoffprisma zeigt Fig. 277 bei A in einer Seitenansicht, bei B im Grundriß. Ein beiderseits schief abgeschnittenes Stück eines Lampenchlinders c c c ist an beiden Seiten durch ebene Glasplatten p p_1 und p p_2 verschlossen und hat an seiner oberen Seite eine später zu verschließende Oeffnung zum Einfüllen der Flüssigkeit.

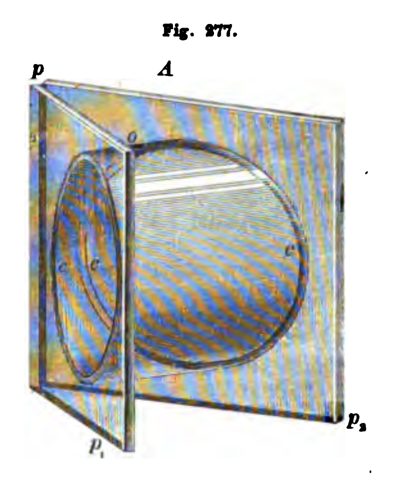
Hält man ein solches, mit Schwefelkohlenstoff gefülltes Prisma, das eine Ablenkung von 32 bis 38° bewirkt, bei Sonnenschein mit der brechen-

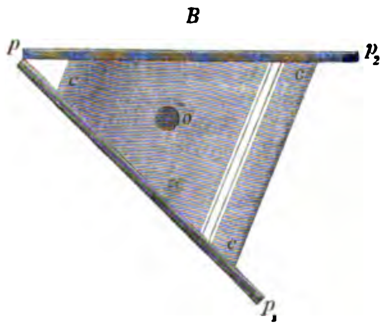
[51] Gute Flintglasprismen haben allerdings vor Schwefelkohlenstoffprismen gewisse Vorzüge, sie sind insbesondere zum Gebrauch bequemer, da aber solche Prismen aus *sehr gleichmäßigem Glase* bestehen müssen, welches ziemlich kostbar ist, so soll hier nur auf Schwefelkohlenstoffprismen Rücksicht genommen werden, die man sich von wenigstens für unsere Zwecke genügender Beschaffenheit verhältnißmäßig leicht selbst machen kann.

den Kante nach unten in die zum Fenster hereinfallenden Lichtstrahlen, so daß diese, nach oben abgelenkt, auf die dem Fenster gegenüberliegende Wand treffen, so bilden sie dort nicht mehr einen weißen Fleck mit bunten Rändern, sondern einen ganz farbigen Streif, in dem gar kein weißer Theil mehr zu bemerken ist; dieses bunte Farbenbild heißt das Spectrum. Das am wenigsten abgelenkte, bei der hier angenommenen Lage des Prisma also das untere, Ende des Spectrums ist roth, das am meisten abgelenkte Ende ist blauviolett gefärbt.

Ein Schwefelkohlenstoffprisma von der hier angenommenen Größe macht man aus einem Gascylinder oder dem unteren, weiten Theile eines Moderateurlampencylinders; man kann sich aber auch mit einem kleineren Prisma begnügen, das man aus dem engen Theile eines Moderateurcylinders macht. Man zeichnet sich zunächst auf dem Cylinder mit Tinte oder Tusche die Linien vor, wo der Cylinder abgesprengt werden soll; dabei muß man darauf achten, daß die beiden Ellipsen, die man aufzeichnet, von der Seite gesehen wirklich als gerade Linien erscheinen und daß sie ungefähr die in Fig. 277.B angegebene Neigung (45°) gegeneinander haben, damit der brechende Winkel die verlangte Größe erhält; ist er zu klein, so wird das Spectrum zu kurz, ist er zu groß, so erhält man gar kein Spectrum, weil dann die Strahlen durch die zweite brechende Fläche gar nicht austreten, sondern an dieser rückwärts reflectirt werden. Nachdem die vorgezeichneten Linien getrocknet sind, führt man mit Sprengkohle zunächst vom einen Ende des Cylinders her einen Sprung bis nahe an die eine Linie heran und dann dieser folgend rund herum und verfährt danach ebenso auf der anderen Seite. (Da man nur ein kurzes Stück des Cylinders bedarf, suche man einen zerbrochenen für den vorliegenden Zweck zu erlangen.) Die abgesprengten Ränder des Glases sind immer beträchtlich uneben und müssen mit Schmirgel auf einer Eisenplatte sorgfältig zurecht geschliffen werden; dieses Abschleifen nimmt man aber erst vor, nachdem man das Loch zum Einfüllen der Flüssigkeit mit der Feile gebohrt hat, damit man, falls ja beim Bohren das Glas brechen sollte, die Arbeit des Schleifens nicht umsonst gemacht hat. Die Platten, welche die brechenden Flächen bilden, müssen jedenfalls aus geschliffenem Spiegelglas bestehen, wenn das Prisma zu allen folgenden Versuchen ordentlich brauchbar sein soll; ungeschliffenes Glas ist nicht hinreichend eben. Kann man beim Glaser kein unbelegtes, geschliffenes Glas auftreiben, so muß man sich Stücke von einem zerbrochenen, guten Spiegel verschaffen und von diesem die Belegung abkratzen. (Man hebe das Abgekratzte auf zu Versuchen über Reibungselektricität.) Die Glasplatten brauchen nur 1,5 bis 2^{mm} dick zu sein, doch schadet es durchaus nichts, wenn sie stärker sind; nur kann man sehr dickes Glas nicht

Fig. 277.





A, a. P; A u. B 1/4 nat. Gr.

gut mit Sprengkohle bearbeiten; man thut überhaupt besser, diese Platten vom Glaser gleich recht schön rechteckig schneiden zu lassen und dann nur ihre Ränder auf dem Schleifsteine etwas abzurunden. Die Gläser sollen 1^{cm} breiter sein, als der Glascylinder dick ist und mindestens 1^{cm} länger, als der längste Durchmesser der Ellipsen, welche die Cylinderenden bilden. Ist der zurechtgeschliffene Cylinder an seiner schmalen Seite (die nach der brechenden Kante zu kommen soll) breiter, als Fig. 277 B zeigt, so muß die Länge der Glasplatten noch etwas größer gemacht werden, damit sich ihre Kanten wirklich berühren; man thut deshalb gut, die gehörige Größe der Platten an zwei Pappstücken auszuprobiren, ehe man die Gläser schneiden läßt.

Die beiden wohlgereinigten Glasplatten werden genau aufeinandergelegt und an einer ihrer schmalen Seiten durch ein aufgeleimtes Streifchen von dünnem Papier verbunden, welches eine Art Charnier bildet und dient, den Platten die richtige Lage zu sichern; später kann dasselbe wieder entfernt werden. Ist das Papier hinlänglich fest geworden, so hebt man die eine Glasplatte an der nicht verklebten, schmalen Seite in die Höhe, während die andere auf dem Tische liegt und schiebt nun das Cylinderstück so zwischen beide Platten, daß sich diese genau an die abgeschliffenen Ränder desselben anlegen. Hat man so die richtige Stellung gefunden, so hält man mit einer Hand das Cylinderstück in dieser Lage fest, klappt die obere Glasplatte ganz auf, bestreicht den Rand des Cylinders mit Leim und legt die Glasplatte wieder an, indem man sie mäßig stark, aber vorsichtig aufdrückt, um das Cylinderstück nicht zu verschieben. Der Leim darf nicht zu dünnflüssig sein, damit er nicht zu langsam erhärtet und muß mit einem feinen Pinsel in ganz dünner Schicht auf den abgeschliffenen Rand gestrichen werden, daß nichts in's Innere des Cylinders dringt und auch beim Anlegen der Glasplatte so wenig als irgend möglich hineingedrückt wird. Nachdem der Leim fest geworden — nach einigen Stunden — hebt man das Ganze vorsichtig auf und kehrt es um, sodaß die festgeleimte Glasplatte auf den Tisch zu liegen kommt, klappt die zweite Platte zurück und leimt sie dann in gleicher Weise an. (Will man ein Wasserprisma ganz aus Glas machen, so befestigt man die Platten, anstatt mit Leim, mit Canadabalsam, der aber zwischen Glas sehr langsam trocknet; er braucht einige Tage, um zu erhärten.) Beim vollkommenen Trocknen zieht sich die dünne Leimschicht zwischen den Glasflächen meist so zusammen, daß sie nicht mehr überall, sondern nur an einzelnen Stellen am Glase haftet und keinen dichten Verschluß giebt; man bestreicht deshalb die geleimten Fugen von außen mit einem eigenthümlichen Leimkitt, welcher nie ganz austrocknet und für den in das Hohlprisma zu füllenden Schwefelkohlenstoff vollkommen undurchlässig ist.

10^{grm} in kleine Stücke zerschlagenen Leim läßt man in kaltem Wasser einige Stunden quellen, gießt dann das noch übrige Wasser ab, setzt 10^{grm} gewöhnlichen, braunen Zuckersyrup (Melasse) zu und erwärmt das Ganze vorsichtig unter beständigem Umrühren (am besten in einem ganz kleinen Blechgefäß) bis zum vollständigen Zergehen des Leimes und völliger Vermischung der beiden Bestandtheile; man läßt einige Augenblicke kochen, dann abkühlen, bis alle Blasen im Innern der Flüssigkeit verschwunden sind und erwärmt dann wieder vorsichtig bis zum Dünnflüssigwerden, aber nicht bis zum Kochen, damit sich nicht wieder Blasen bilden. Von diesem Gemenge streicht man mit einem kleinen Pinsel eine dünne Schicht auf die Zusammensetzungsfugen und wiederholt dieses Aufstreichen in Zeit von einigen Stunden so oft, daß eine einige Millimeter dicke Lage der Dichtungsmasse entsteht.

Gewöhnlich setzt sich an die inneren Wände des Glasgefäßes ein feiner Beschlag von Wassertröpfchen infolge der nach innen stattfindenden Verdunstung der im Leim enthaltenen Feuchtigkeit; diesen Beschlag entfernt man, indem man ein enges (nöthigenfalls etwas dünn ausgezogenes) Glasröhrchen durch die Oeffnung bis etwa in die Mitte des Prisma hineinsteckt und am äußeren Ende dieses Rohres kräftig mit dem Munde saugt; der solchergestalt erzeugte Luftwechsel bewirkt ein rasches Verdunsten des Wasserbeschlages.

Der Schwefelkohlenstoff ist eine höchst unangenehm nach faulem Rettig riechende, außerordentlich leicht verdunstende und sehr brennbare Flüssigkeit, welche schwerer ist, als Wasser und sich mit diesem nicht mischt. Da er aus einer nicht ganz sorgfältig

verkorkten Flasche leicht verdunstet und feuergefährlich ist, so wird er in der Regel unter Wasser aufbewahrt, d. h. man gießt auf den in einer Flasche befindlichen Schwefelkohlenstoff eine 1 bis 2^{cm} hohe Wasserschicht; so erhält man ihn auch, wenn man ihn in der Apotheke oder beim Droguisten kauft. Der Schwefelkohlenstoff hat in hohem Grade die Fähigkeit, Harze, Fett und ähnliche Stoffe aufzulösen, deshalb darf ein für ihn bestimmtes Prisma nicht mit Siegellack, sondern muß mit Leim verkittet sein. Man hüte sich sorgfältig, brennende oder glimmende Körper in die Nähe zu bringen, wenn man mit Schwefelkohlenstoff arbeitet; das Gemenge von Schwefelkohlenstoffdampf und Luft, welches sich bei seiner großen Verdunstungsfähigkeit sehr leicht bildet, ist nicht minder gefährlich, als ein Gemenge von Wasserstoffgas und Luft.

Man darf den Schwefelkohlenstoff nicht mit einer Pipette aus der Flasche herausnehmen, weil man dabei den beißenden Dampf desselben in den Mund bekommt. Um ihn möglichst frei von dem Wasser, mit dem er überdeckt ist, zu bekommen, verfährt man folgendermaaßen: Man entfernt den Stöpsel von der Flasche, gießt soviel Wasser zu, daß die Flasche davon angefüllt und alle Luft ausgetrieben wird, verschließt den Flaschenhals fest mit dem Finger, kehrt die Flasche langsam um, wartet, bis alles Wasser nach oben gestiegen ist und läßt dann durch vorsichtiges Lüften des Fingers den Schwefelkohlenstoff langsam in einen geräumigen Trichter fließen, in den man den Flaschenhals eingesenkt hat. Das Austreiben der Luft aus der Flasche vor dem Ausgießen ist nöthig, weil sich in einem lufthaltigen Raume beim Umkehren der Flasche Schwefelkohlenstoffdampf entwickelt, welcher einen beträchtlichen Druck ausübt und beim Lüften des Fingers ein Verspritzen der Flüssigkeit bewirkt. Um kleine Mengen Wasser oder andere Verunreinigungen zurückzuhalten, die dem Schwefelkohlenstoff beigemengt sind, filtrirt man ihn durch Fließpapier, das man passend geschnitten und gefaltet in den Trichter gelegt hat, in den man den Schwefelkohlenstoff fließen läßt. Diesen Trichter klemmt man in den oberen von zwei Armen, die man auf den Stab eines Retortenhalters geschoben hat und bringt unmittelbar unter ihm in dem zweiten Arme einen kleineren Trichter an, durch den die filtrirte Flüssigkeit sofort in das Prisma fließt. Das Rohr dieses kleinen Trichters muß ein Stück in's Innere des Prisma hineinragen, hat man keinen kleinen Trichter, dessen Rohr dünn genug ist, so steckt man in die Oeffnung des Prisma ein Glasröhrchen, das man unten hinlänglich dünn ausgezogen hat, um es einführen zu können und das an seinem oberen, unverengten Theile weit genug ist, den Hals des kleinen Trichters aufzunehmen. Das Einfließen des Schwefelkohlenstoffs in den großen Trichter lasse man langsam geschehen, damit die filtrirte Flüssigkeit im kleinen Trichter nicht überläuft, sondern ohne Verlust in's Prisma gelangt. Das Prisma darf nicht ganz mit Flüssigkeit gefüllt werden, sondern es muß ein Raum von einigen Cubiccentimetern leer bleiben, sonst gelingt es nicht, dasselbe dicht zu verschließen. Den Verschluß bewirkt man, indem man rund um die Oeffnung einen ganz dünnen, etwa 2^{mm} breiten Streifen von dem Leimsyrupgemisch aufstreicht und auf diesen, nachdem er abgekühlt, aber noch nicht ordentlich fest geworden ist, ein Stückchen Fensterglas, etwa 1^{cm} in's Geviert, fest aufdrückt. Hat man sich nach dem Entfernen des in der Nähe befindlichen Schwefelkohlenstoffs überzeugt, daß das Prisma dicht schließt, was man daran erkennt, daß es geruchlos ist, so überstreicht man das als Verschluß dienende Glasstück noch einigemal mit Leimsyrupkitt und wartet dann einige Stunden, ehe man das Prisma bewegt, um ihn etwas fest werden zu lassen.

Sollte man beim Einfüllen des Schwefelkohlenstoffs bemerken, daß das Prisma irgendwo ausliefe, so fülle man den Schwefelkohlenstoff wieder in seine Flasche, lasse das Prisma erst völlig austrocknen und überstreiche dann die undichte Stelle wiederholt mit dem Gemisch von Leim und Syrup.

Die ganze Arbeit nimmt man wegen des lästigen Geruchs am besten im Freien vor; der Geruch verliert sich übrigens im Zimmer sehr schnell, wenn man nach beendeter Arbeit die Fenster öffnet.

Ein gut gelungenes Schwefelkohlenstoffprisma darf kaum eine Spur riechen und erst nach Jahren eine Abnahme der Flüssigkeit bemerken lassen; will man es auseinandernehmen, um es zu reinigen oder neu zu füllen, so nimmt man mittelst eines

Messers das verschließende Glasplättchen von der Oeffnung ab, gießt das Prisma aus und legt es dann in Wasser, um den Leim aufweichen zu lassen, sodaß die Glasplatten ohne viel Gewalt abgenommen werden können.

Reiner Schwefelkohlenstoff ist farblos; im Handel kommt häufig ein etwas gelblich gefärbter vor, der weniger gut brauchbar ist. Farbloser Schwefelkohlenstoff wird durch die Einwirkung des Tageslichtes, mehr noch durch die des Sonnenlichtes allmählig gelblich; deshalb ist es räthlich, das Prisma während des Nichtgebrauches in einem Kasten, also im Dunkeln aufzubewahren.

Blickt man durch das fertige Prisma nach einem weißen Gegenstande auf dunkelm Grunde oder nach einem dunkeln Gegenstande auf hellem Grunde (nach einem Fensterkreuz), so erscheint derselbe soweit von einer Stelle verschoben, daß man anfangs Mühe hat, ihn zu finden und mit sehr breiten, prachtvoll gefärbten Rändern.

Anstatt der Spiegelglasplatten kann man recht gut auch ebene Brillengläser (wie sie bei Schutzbrillen Verwendung finden), sogenannte planparallele oder planplane Gläser anwenden; man muß aber dann einen Cylinder benutzen, dessen Durchmesser beträchtlich kleiner ist, als der der Gläser, wenn diese kreisrund sind (weil dieselben schief an den Cylinder angesetzt werden müssen) oder man muß elliptische Gläser anwenden, wie sie in den meisten Brillen benutzt werden und den Cylinder ein wenig dünner nehmen, als diese Gläser breit sind.

Die geschliffenen Brillengläser sind dem Spiegelglase eigentlich vorzuziehen, ein damit hergestelltes Prisma hat nur die Uebelstände, daß die Lage der brechenden Kante nicht unmittelbar durch das Zusammenstoßen der beiden Glasplatten sichtbar gemacht wird und daß man einen besonderen Fuß braucht, wenn man das Prisma, wie für spätere Versuche nothwendig, so aufstellen will, daß die brechende Kante senkrecht steht. Einen Fuß schneidet man aus einem Spundkork; die untere Fläche wird mit der Feile geebnet, damit er gut steht; in die obere Fläche macht man mit der halbrunden Seite der Raspel eine rinnenartige Vertiefung, in welche die untere Hälfte des Prisma hineinpaßt; die Seiten schneidet man dreieckig, der Form des Prisma entsprechend.

Wenn alle Lichtstrahlen der Sonne durch ein und dasselbe Prisma gleich stark gebrochen würden, so müßte bei dem zuletzt besprochenen Versuche an der Wand ein weißer Fleck entstehen, wie es bei dem in Fig. 262 dargestellten Versuch mit dem Wasserprisma der Fall war. Das weiße Licht besteht aus sehr vielen verschieden gefärbten Strahlen, die aber in ihrer gleichmäßigen Vermischung den Eindruck von Weiß hervorbringen. Würden nun die verschieden gefärbten Strahlen, welche gemeinschaftlich auf das Prisma treffen, alle gleich stark abgelenkt, so müßten sie auch wieder alle auf den nämlichen Fleck der Wand treffen und also durch ihre Vermischung wieder Weiß geben. Weil aber beispielsweise die violetten Strahlen stärker abgelenkt werden, als die grünen und diese wieder stärker als die rothen, so liegt der von den violetten Strahlen hervorgebrachte violette Fleck — bei der oben angenommenen Lage des Prisma mit der brechenden Kante nach unten — an der Wand etwas höher, als der von den grünen Strahlen erzeugte grüne Fleck und dieser wieder etwas höher als der rothe; das Spectrum ist eine Aufeinanderfolge einzelner, verschieden gefärbter Flecken, die aber so dicht beisammenliegen, daß jeder immer zum Theil auf den nächstfolgenden fällt, so daß also nur an den Enden des Spectrums der untere Rand des rothen und der obere Rand des violetten Flecks rein hervortreten; im ganzen mittleren Theile des Spectrums ist das Licht an jeder Stelle noch gemischt aus mehreren, einander nahe liegenden Farben.

Bei Anwendung eines Wasserprisma mit kleinem brechenden Winkel ist die Farbenzerstreuung so schwach, d. h. die verschiedenfarbigen Bestandtheile des Lichtes werden nur so wenig verschieden gebrochen, daß die von ihnen

beleuchteten Stellen fast ganz zusammenfallen, nur ganz wenig ist das violette Licht stärker gebrochen, als das rothe; es tritt deshalb nur ein ganz schmaler violetter Rand auf einer, ein ganz schmaler rother auf der andern Seite des hellen Flecks auf, welchen das durch das Prisma gegangene Licht erzeugt; zum allergrößten Theile fallen hier die von den verschiedenfarbigen Strahlen erzeugten Flecken aufeinander und bringen deshalb in dem weitaus größten Theile des Spectrums durch ihre Vereinigung wieder Weiß hervor. Bei der in Fig. 262 gezeichneten Anordnung des Versuches — brechende Kante des Prisma nach oben, Ablenkung nach unten — muß natürlich der von den weniger brechbaren Strahlen erzeugte rothe Rand des Flecks oben, der von den stärker brechbaren erzeugte violette unten sein.

Eigentlich sind es unendlich viele verschiedene Farben, die im Spectrum des weißen Lichtes enthalten sind und von denen jede immer nur außerordentlich wenig von der benachbarten verschieden ist; man bezeichnet aber nur die Hauptgruppen mit besonderen Namen, es sind dies, von den weniger brechbaren zu den brechbaren fortschreitend

Roth
Orange
Gelb
Grün
Himmelblau (Cyan)
Tiefblau (Indig)
Violett.

Eine scharfe Sonderung der Farben ist nach dem eben gesagten nicht möglich, die Farben gehen ganz allmählig ineinander über.

Unser Schwefelkohlenstoffprisma zieht das Spectrum, wenn dieses auf einer 2^m vom Prisma entfernten Wand aufgefangen wird, um etwa 15^{cm} in die Länge, wenn also der Lichtfleck ohne Farbenzerstreuung einen Kreis von 5^{cm} Durchmesser bilden würde, so entsteht ein Spectrum von 5^{cm} Breite und $5 + 15 = 20^{cm}$ Länge, bei dem die einzelnen Farben noch ziemlich 5^{cm} weit übereinandergreifen, so daß der ganze mittlere Theil des Spectrums noch Mischfarben zeigt.

Ein reineres Spectrum erhält man, wenn man anstatt eines kreisrunden Flecks einen schmalen, hellen Streifen zur Erzeugung des Spectrums verwendet, was auf verschiedene Weise möglich ist. Es ist dann am einfachsten, das durch das Prisma gegangene Licht nicht auf einen Schirm, sondern mit dem Auge aufzufangen, d. h. durch das Prisma hindurch nach dem hellen Streifen zu sehen.

Man kann in die Mitte einer großen Papptafel (womöglich nicht unter 50^{cm} ins Geviert) einen Schlitz von 5^{cm} Länge und 5 bis 6^{mm} Breite schneiden und diese Tafel vor einer der oberen Scheiben eines Fensters mit ein paar dünnen Drahtstiften so befestigen, daß der Schlitz wagrecht zu liegen kommt. Stellt man nun einen Retortenhalter so auf einen Tisch in einiger Entfernung vom Fenster, daß man, dicht über den Arm desselben weg nach dem Schlitz sehend, durch diesen den hellen Himmel (nicht die Sonne) erblickt, stützt dann das Prisma mit der brechenden Kante auf den Retortenhalterarm und sieht durch dasselbe hindurch, so erblickt man Fenster und Papptafel viel tiefer, als sie sich wirklich befinden und an Stelle des Spaltes erscheint ein schönes Spectrum, das rothe Ende nach oben, das violette nach unten gekehrt. Die von einem solchen Schwefelkohlenstoffprisma hervorgebrachte Ab-

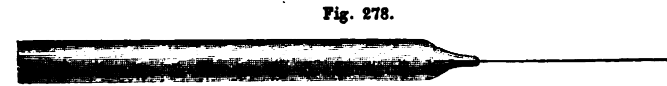
lenkung ist so stark, daß einige Uebung dazu gehört, die hindurchgesehenen Gegenstände gleich aufzufinden; die Papptafel erscheint so weit abwärts gerückt, daß man nicht mehr aufwärts, wie ohne Prisma, sondern stark abwärts sehen muß, um sie zu erblicken. Daß das Spectrum die umgekehrte Lage der Farben zeigt, wie das auf dem Schirme aufgefangene, kann bei einiger Ueberlegung nicht wunder nehmen. Schon im vorigen § haben wir gesehen, daß ein Prisma, welches das Licht nach unten ablenkt, die hindurchgesehenen Gegenstände nach oben gerückt erscheinen läßt, dem entsprechend muß das Prisma bei der jetzt angenommenen Lage, bei der es das Licht nach oben ablenkt, den Spalt nach unten gerückt erscheinen lassen und zwar um so mehr, je stärker das Licht gebrochen wird. Käme durch den Spalt anstatt des Tageslichtes rothes Licht, so würde man anstatt des Spectrums nur den rothen Spalt sehen; ginge blaues Licht hindurch, so sähe man einen blauen Spalt, den letzteren aber weiter nach unten gerückt, als den rothen. Durch Vorsetzen eines blauen oder rothen Glases vor den Spalt kann man die Erscheinung in dieser Weise nur sehr unvollkommen sehen, weil die bunten Gläser nicht nur Licht von einer Farbe, sondern immer verschiedenfarbiges und verschieden stark brechbares Licht durchlassen; das blaue Glas z. B. läßt allerdings vorwiegend blaue, aber auch einige grüne und violette und selbst eine merkliche Menge rothe Lichtstrahlen durch; man erblickt also, wenn man ein blaues Glas vor den Spalt setzt, durch das Prisma nicht einen deutlichen blauen Spalt, sondern einen verwaschenen Streifen, der sich vom Grünen bis zum Violetten erstreckt und etwas über diesem noch einen schwachen rothen Schimmer. Es läßt sich aber auf andere Weise recht wohl zeigen, daß das bunte Spectrum, welches ein heller Gegenstand (ein Spalt, eine Lichtflamme oder dergl.) bei der Betrachtung durch ein Prisma bietet, dadurch zustande kommt, daß man den Gegenstand in verschiedenen Farben nebeneinander sieht, wenn man nämlich als Lichtquelle eine Wasserstoffflamme benutzt, welche durch hineingebrachte Substanzen verschiedenartig gefärbt wird.

Für diese Versuche braucht man den in Fig. 156 dargestellten Gasentwickelungsapparat. Man steckt an den Hahn h einen Kautschukschlauch und schiebt das andere Ende desselben über den weiten Theil eines Löthrohres, so daß das Gas aus der freien Oeffnung des Löthrohres ausströmt. Das Löthrohr wird mit seinem längeren Ende wagrecht in einen Retortenhalter gespannt, so daß es seine Oeffnung nach oben kehrt und die Flamme senkrecht brennt. Natürlich muß man die bei der chemischen Harmonika erwähnte Vorsicht brauchen und das Gas vor dem Entzünden auf seine Reinheit prüfen; das Löthrohr setzt man erst nach dieser Prüfung an den Schlauch, um es nicht beim Auffangen des Gases unter Wasser naß zu machen. Aus einem Glasrohr darf man, wenigstens bei den später folgenden Versuchen, das Wasserstoffgas nicht brennen lassen, weil das Glas an und für sich schon der Flamme eine (gelbe) Färbung ertheilt, wenn es heiß wird. Auch muß man darauf achten, daß die Löthrohröffnung recht rein sei; hat sich an dieser Grünspahn angesetzt, was besonders leicht geschieht, wenn sie durch Löthwasser beschmutzt worden ist, so brennt die Flamme blaugrün, sie soll aber fast ganz unsichtbar sein. Man stellt den Hahn so, daß sie 1,5 bis 3^{cm} hoch ist; macht man mehrere Versuche hintereinander, so ist es gut, den Wasserstoffapparat vorher neu zu füllen.

Zum Einbringen der färbenden Stoffe in die Wasserstoffflamme muß man einen feinen Platindraht benutzen, weil Platin das einzige Metall ist, welches die große Hitze dieser Flamme verträgt, ohne zu verbrennen oder zu schmelzen. Ein 3 bis 6^{cm} langes, $^1/_4{}^{mm}$ dickes Stück Platindraht wird an einem Ende mit Hülfe der Pincette zu einem 1 bis 2^{mm} weiten Ring gebogen und mit dem andern Ende in ein Glas-

röhrchen eingeschmolzen. Ein höchstens bleistiftstarkes Glasrohr zieht man an einem Ende zu einer Spitze aus, bricht das Ende desselben ab, schiebt das gerade Ende des Drahtes 5mm weit hinein und erhitzt den Draht und das äußerste Ende des Glases in einer Weingeist- oder Gasflamme so stark, das sich das Glas rund herum an den Draht anlegt und an ihm festschmilzt; Fig. 278 zeigt den Draht sammt dem Glasgriff. Beim Gebrauche taucht man den Ring in die mit Wasser zu einem Brei angerührte oder in Wasser aufgelöste Masse, welche man in die Flamme bringen will, nähert dann den Ring ganz vorsichtig der Flamme von der Seite so, daß der Brei oder die Lösung eintrocknet, hält ihn dann in einiger Höhe über der Flamme, bis der beim Eintrocknen gebliebene Rückstand geschmolzen und dadurch am Draht fest geworden ist und bringt ihn hierauf erst in die Flamme und zwar in den unteren Theil

Fig. 278.



nat. Gr.

derselben, wenige Millimeter über der Spitze des Löthrohrs. Geht man mit der feuchten Masse zu schnell in die Flamme, so spritzt dieselbe zum größten Theile fort, deshalb ist das allmählige Erwärmen nöthig. Damit man den gläsernen Griff des Drahtes nicht dauernd in der Hand zu halten braucht, stellt man sich einen Retortenhalter zurecht, dessen Gabel so weit zusammengeschraubt wird, daß man das Glasröhrchen mit ganz geringer Kraft zwischen die Korkstücke hineinschieben und wieder zwischen ihnen wegziehen kann, ohne an der Schraube drehen zu müssen; der Halter wird natürlich so gerichtet, daß der Ring des Platindrahtes an die richtige Stelle der Flamme kommt, wenn man das Glasrohr einklemmt.

Viele Salze besitzen die Eigenschaft, die Wasserstoffflamme zu färben, wenn man sie in kleiner Menge hineinbringt, nämlich solche Salze, welche in der Hitze der Flamme verdampfen; es ist der glühende Dampf der verschiedenartigen Stoffe, welcher die Färbung bewirkt. Eines der verhältnißmäßig leicht verdampfenden Salze ist das gewöhnliche Kochsalz, es wird schon durch die Wärme einer Weingeistflamme einigermaaßen verdampft; bringt man etwas Kochsalz mit Hülfe eines Platindrahtes in die Flamme oder streut geradezu einige Körnchen auf den Docht einer Weingeistlampe, so brennt diese deutlich gelb. Für den vorliegenden Zweck kann man aber eine Weingeistflamme nicht brauchen, sie ist zu groß und für andere Stoffe, als Kochsalz nicht heiß genug.

Man befeuchtet ein paar Körnchen Kochsalz auf einem Uhrglase oder einem kleinen Glasscherben mit einer Spur Wasser, füllt den Ring des Platindrahtes mit dem Brei an und bringt ihn vorsichtig in die Flamme; die durch Schmelzen des Salzes entstehende, durchsichtige Perle verdampft in ziemlich kurzer Zeit, indem sie die Flamme stark gelb färbt. So lange noch etwas Kochsalz da ist, erscheint die Wasserstoffflamme viel größer, als im ungefärbten Zustande; der brennende Wasserstoff leuchtet so schwach, daß man nur die allerheißesten, inneren Theile der Flamme sieht, während man von dem starkleuchtenden Kochsalzdampf auch die äußeren, weniger heißen Theile noch deutlich wahrnimmt.

Fig. 279.

p f o

1/16 nat. Gr.

Um die Flamme durch das Schwefelkohlenstoffprisma zu betrachten, stellt

man dieses so auf eine Unterlage von Brettchen, Büchern oder dergl., daß es mit der Flamme gleich hoch steht und daß seine brechende Kante senkrecht ist, wie in Fig. 279; ob man die brechende Kante nach links oder nach rechts wendet ist gleichgültig; es hat dies nur Einfluß auf die Lage des Spectrums. Im Folgenden soll angenommen werden, daß die brechende Kante des Prisma nach links liege, dann erscheint in dem durch das Prisma gesehenen Spectrum das Roth rechts, das Violett links.

Die Entfernung des Prisma von der Flamme soll nicht unter 1^m betragen; um das Auffinden der Richtung zu erleichtern, in der man die Flamme erblickt, ist in Fig. 279 die Flamme (f), das Prisma (p) und die Richtung des in's Auge fallenden Lichts (p o) im Grundriß dargestellt.

Die durch das Prisma betrachtete Kochsalzflamme erscheint nach der Seite verschoben, übrigens aber ganz so, wie bei der Betrachtung mit bloßem Auge; der glühende Dampf des Kochsalzes strahlt nur gelbes Licht von ganz bestimmter Brechbarkeit aus; alle seine Strahlen werden gleich stark abgelenkt und geben deshalb ein eben so unverzerrtes Bild der Flamme, als wären sie gar nicht abgelenkt worden. (Wenn man das Prisma ein wenig hin und her dreht, so wird die Ablenkung etwas größer oder kleiner; man bringt das Prisma am besten in die Stellung, bei welcher die Ablenkung am kleinsten ist, vergl. S. 290, Anm. 45.) Die Eigenschaft des Kochsalzdampfes, gelbes Licht auszustrahlen, rührt her von einem Bestandtheile des Kochsalzes, dem Natrium. Dieses Natrium ist noch in vielen anderen Stoffen enthalten, z. B. in der Soda, im Glaubersalz, im Glase und alle diese Stoffe bringen die nämliche, gelbe Farbe hervor, wenn sie in der Wasserstoffflamme erhitzt werden. Vom Glase verdampfen freilich nur unmerkliche Spuren, aber diese reichen schon hin, die gelbe Färbung zu erzeugen.

Ein anderer, dem Natrium ähnlicher Stoff, das Lithium, strahlt im dampfförmig glühenden Zustande prachtvoll carminrothes Licht, ebenfalls von nur einer Brechbarkeit aus; bringt man in die Wasserstoffflamme ein wenig einer ganz reinen Lithiumverbindung, z. B. kohlensaures Lithium oder Chlorlithium, so erblickt man die rothe Flamme durch das Prisma eben so scharf, wie die Natronflamme, aber nicht ganz so weit nach links gerückt. Die käuflichen Lithiumverbindungen enthalten fast immer eine kleine Menge Natriumverbindungen; bringt man ein solches natriumhaltiges Lithiumsalz oder ein Gemenge eines Lithiumsalzes mit ein wenig Kochsalz in die Wasserstoffflamme, so erscheint diese mit freiem Auge gesehen nicht ganz so schön roth, als bei Anwendung eines natriumfreien Lithiumsalzes, betrachtet man sie aber durch das Prisma, so erblickt man nebeneinander zwei ganz getrennte Bilder der Flamme, das eine in der brillanten Farbe der reinen Lithiumflamme, das andere in der gelben Farbe der Natriumflamme. Wendet man ein Gemenge an, welches mehr Natrium und wenig Lithium enthält, so erscheint die Flamme mit freiem Auge einfach gelb, das Prisma zeigt aber auch dann noch die beiden getrennten Flammenbilder, von denen aber das rothe schneller verschwindet, als das gelbe, weil die Lithiumverbindungen leichter verdampfen, als die Natriumverbindungen und deshalb die kleine Menge Lithium schneller fortgeht, als das Natrium.

Das Auge vermag die verschiedenen Farben der durch zwei oder mehr Stoffe zugleich gefärbten Flamme nicht zu unterscheiden, es erblickt einfach die aus dem gleichzeitigen Vorhandensein der verschiedenen Farben sich ergebende Mischfarbe, die bei unserem Versuche je nach dem Mengenverhält-

niß der beiden Stoffe bald mehr roth, bald mehr gelb ist; das Prisma trennt die Farben, indem es die Strahlen der einen Farbe mehr ablenkt, als die der andern und zeigt deshalb so viele nebeneinanderliegende Bilder der Flamme, als diese Farben ausstrahlt.

Kalkverbindungen färben die Wasserstoffflamme orange, wenn sie darin zur Verdampfung gebracht werden. Am besten wendet man Chlorcalcium an, ein Salz, welches man in aufgelöster Form erhält, wenn man auf eine Messerspitze geschabter Kreide in einem Uhrglas oder einem Tuschnäpfchen tropfenweise ein Gemisch von gleichen Theilen Wasser und Salzsäure bringt, bis die Kreide sich aufgelöst hat. Das Chlorcalcium empfiehlt sich, weil es unter den Kalkverbindungen die leichtflüchtigste ist. Die orange Farbe der Kalkflamme ist aber nicht einfach, sie ist ein Gemisch von Orange und Grün, wie man sofort erkennt, wenn man die Kalkflamme durch das Prisma betrachtet: man sieht ein oranges und ein grünes Flammenbild neben einander.

Bringt man auf ein Gemenge von etwas Lithiumsalz mit wenig Kochsalz einen Tropfen Chlorcalciumlösung, mengt den entstehenden Brei mit einem kleinen Spähnchen oder einem Glasstab und bringt etwas davon mit dem Platindraht in die Flamme, so sieht diese für das blose Auge fast ebenso aus, wie wenn man nur Kalk hineingebracht hat; durch das Prisma aber sieht man vier Flammen, rechts die rothe Lithionflamme, daneben die orange Kalkflamme, dann die Natronflamme und ganz links die grüne Kalkflamme. Fig. I. auf der vor dem Titel des Buches befindlichen colorirten Tafel zeigt rechts die durch die drei Stoffe gefärbte Flamme, wie sie bei unmittelbarer Betrachtung aussieht, links das vierfache Flammenbild, wie man es durch das Prisma erblickt. Die beiden Kalkflammenbilder sind weniger groß, als die beiden anderen, weil die Kalkverbindungen nicht so leicht verdampfen, wie die Natrium- und Lithiumverbindungen und deshalb nur im inneren Theile der Flamme wirklich dampfförmig werden.

Die Versuche werden am besten bei Abend oder wenigstens in einem durch Herablassen der Rouleaux und Vorhänge verdunkelten Zimmer angestellt, weil das Auge irgend eine Lichterscheinung um so besser wahrnimmt, je weniger fremdes Licht außerdem vorhanden ist. Jedenfalls muß man der Flamme einen dunklen Hintergrund geben, indem man einige Decimeter hinter derselben entweder ein schwarzes Tuch aufhängt oder eine schwarz angestrichene Papptafel aufstellt. Eine solche Tafel wird mit Ruß angestrichen, der mit dünnem Leimwasser angerührt ist; es darf nur soviel Leim angewendet werden, daß der Anstrich nach dem Trocknen nicht glänzend, sondern matt aussieht. Da Ruß nur schwierig vom Wasser benetzt wird, bringt man auf den zu verwendenden Ruß erst einige Tropfen Weingeist und rührt beides zu einem steifen Brei an, verdünnt diesen mit etwas Wasser und setzt dann erst den warm aufgelösten Leim zu.

Das Kochsalz und die Lithiumsalze verdampfen, ohne einen Rückstand zu lassen, wenn sie rein sind; das Chlorcalcium läßt einen kalkigen Rückstand, den man durch Auflösen in verdünnter Salzsäure entfernt. Am besten ist es, den Platindraht in einem mit Salzsäure gefüllten Fläschchen aufzubewahren, in dessen Kork man ein Loch gebohrt hat, in welches der Glasgriff des Platindrahtes streng hineinpaßt; man läßt den Kork ein für allemal auf dem Glasrohr sitzen und nimmt dieses beim Gebrauch sammt dem Kork aus der Flasche; der Draht wird vor dem Gebrauch jedesmal abgespült, indem man den Strahl der Spritzflasche darauf leitet. Natriumverbindungen sind in geringer Menge in sehr vielen Stoffen enthalten und die geringste Spur derselben reicht hin, eine gelbe Flammenfärbung zu erzeugen; nach dem oben angegebenen Verfahren erhält man meist auch natriumhaltiges Chlorcalcium und bekommt deshalb schon ohne besonderen Zusatz von Kochsalz zwischen der orangen und der grünen Kalkflamme die gelbe Natriumflamme. Läßt man aber den mit wenig Chlor-

calciumlösung benetzten Draht längere Zeit in der Flamme, so verdampfen die Natriumverbindungen und das Chlorcalcium läßt einen Rückstand von Kalk, welcher eine schwächere Färbung bewirkt, als das Chlorcalcium, aber das orange und grüne Kalkflammenbild ohne die gelbe Natriumflamme zeigt.

Anstatt des kohlensauren Lithions kann man allenfalls auch kohlensaures Kalium (kohlensaures Kali) verwenden, das ein weniger schön rothes und durch das Prisma weniger deutlich sichtbares Flammenbild erzeugt, welches noch etwas weniger nach links verschoben erscheint, als das des Lithiums. Cigarrenasche enthält beträchtliche Mengen von Kalium-, Calcium- und Natriumverbindungen; bringt man mit etwas Salzsäure befeuchtete Cigarrenasche in die Wasserstoffflamme, so erblickt man durch das Prisma die beiden Calciumflammen, zwischen ihnen die Natriumflamme und links von der orange Calciumflamme — aber weiter abstehend als die in unserer Figur dargestellte Lithiumflamme — die rothe Kaliumflamme. Manche Cigarrenasche enthält auch geringe Mengen Lithium; solche Asche giebt, mit Salzsäure in die Flamme gebracht, fünf Flammenbilder, doch muß man die Masse durch einen Gehülfen in die Flamme bringen lassen, während man das Auge schon am Prisma hat, weil sonst die geringe Lithiummenge verdampft und das von ihr herrührende Flammenbild verschwindet, ehe man Zeit hat, es wahrzunehmen.

Die einzelnen Flammenbilder erscheinen um so weiter auseinander gerückt, je weiter die Flamme von dem Prisma entfernt ist; weniger als 1^m darf sie nicht entfernt sein, wenn die Bilder ordentlich getrennt erscheinen sollen; besser ist es, sie noch weiter zu entfernen. Wer zu kurzsichtig ist, um auf solche Entfernung die kleine Flamme ordentlich zu erkennen, bedient sich zweckmäßigerweise beim Durchsehen durch das Prisma einer Brille oder eines Operngucker.

Würde man noch mehr färbende Stoffe gleichzeitig in die Flamme bringen, so würde man durch's Prisma so viele dicht beisammenliegende Flammenbilder erblicken, daß man nicht mehr im Stande wäre, sie deutlich voneinander zu unterscheiden, sie würden ein zusammenhängendes Spectrum geben, ähnlich wie man es beim Durchgehen der Sonnenstrahlen durch das Prisma oder bei der Anwendung des vom Tageslichte erhellten Spaltes erhält. Eine Kerzen- oder Lampenflamme giebt nicht nur eine große, sondern eine unendliche Zahl von Farben und somit auch von Flammenbildern; diese Bilder sind deshalb gar nicht mehr zu unterscheiden, sondern fließen völlig so ineinander, wie die Farben im Spectrum des Sonnen- oder Tageslichtes.

Ein ebensolches zusammenhängendes (continuirliches) Spectrum giebt auch der Platindraht, wenn man ihn senkrecht in die Wasserstoffflamme hält, daß er weißglühend wird und überhaupt jeder weißglühende starre oder tropfbare Körper; nur glühende Gase oder Dämpfe strahlen Licht von einzelnen Farben aus. Das Licht einer Kerzen- oder Lampenflamme rührt nicht von glühenden Dämpfen her, sondern von außerordentlich kleinen Kohletheilchen, welche durch die Zersetzung des Brennmaterials (Stearin, Oel, Leuchtgas) entstehen und in der Flamme weißglühend werden. Diese Kohletheilchen verschwinden für gewöhnlich durch Verbrennung, man kann aber ihr Vorhandensein nachweisen, wenn man einen kalten Körper (ein Metallstück) in die Flamme hält, welcher die Theilchen, mit denen er in Berührung kommt, soweit abkühlt, daß ihre Verbrennung verhindert wird, diese Theilchen setzen sich als Ruß an den kalten Körper an.

Das bis jetzt betrachtete Verfahren zur Zerlegung des farbigen Lichten sollte hauptsächlich dienen zu zeigen, daß das Spectrum nichts ist, als eine Reihenfolge verschieden weit verschobener Bilder der Lichtquelle; zu weiteres Versuchen über die Zerlegung des Lichtes in seine Einzelfarben ist es nicht ausreichend; man bedient sich dazu besonderer Apparate. Diese heißen

Spectralapparate oder **Spectroskope**; die prismatische Zerlegung des Lichtes nennt man **Spectralanalyse**.

Spectralapparate können sehr verschieden eingerichtet sein; zu genauen Untersuchungen dienen ziemlich zusammengesetzte und kostspielige Vorrichtungen, bei denen man das Spectrum nicht mit bloßem Auge, sondern mit fernrohrartig zusammengestellten Vergrößerungsgläsern betrachtet, auch wol das Licht durch mehrere Prismen hintereinander gehen läßt, um eine sehr starke Farbenzerstreuung zu bewirken. Für unsere Zwecke reicht ein einfacher Spectralapparat hin, welcher nur aus dem Schwefelkohlenstoffprisma, einem feinen Spalt und einem Kasten zur Abhaltung fremden Lichtes besteht.

Wenn man vor die Lichtquelle einen schmalen, senkrechten Spalt setzt, so erblickt man nicht mehr die ganze Flamme, sondern nur eine feine Lichtlinie, oder bei mehrfarbigem Lichte eine Anzahl solcher Linien nebeneinander; wegen der geringen Breite dieser Linien können sie ohne zusammenzufließen näher beisammenstehen, als die breiteren Bilder der ganzen Flamme. Der Spalt mit der hinter ihm befindlichen Flamme kann deshalb dem Prisma so nahe sein, daß man im Stande ist, mit der rechten Hand den Platindraht in die Flamme zu bringen, ohne sich mit dem Auge vom Prisma zu entfernen. Der Kasten, welcher das Prisma umgiebt und außer dem in einer Wand angebrachten Spalt nur noch eine Oeffnung zum Hineinsehen hat, läßt nur das durch den Spalt auf das Prisma fallende Licht in's Auge gelangen; stellt man hinter der vor dem Spalt befindlichen Flamme eine geschwärzte Papptafel auf, so kann man den Apparat auch bei Tage im unverfinsterten Zimmer benutzen.

Einen ganz einfachen Spectralapparat, wie er sich aus unserem Schwefelkohlenstoffprisma herstellen läßt, zeigt Fig. 280 A von der Seite, B nach Wegnahme des Deckels von oben gesehen; C, D und E stellen eine etwas gefälligere Form dar, die auch noch mit geringen Kosten herzustellen ist. Ein Pappkasten k k hat vier senkrecht stehende Wände, von denen die eine (in der Figur die linke) kurze Seitenwand schiefe Winkel mit den Längsseiten bildet, während die andere kurze Wand gegen die Längswände rechtwinkelig steht. In der schiefen Wand ist ein Loch o zum Hineinsehen; die gerade Wand hat in ihrer Mitte einen rechteckigen Ausschnitt von 2^{cm} Höhe und 1^{cm} Breite, welcher durch eine Glasplatte g verschlossen ist. Ein Deckel d d hat einen Rand, welcher etwa 1^{cm} weit über die Seitenwände des Kastens heruntergreift und ohne zu schlottern, aber ganz leicht aufpaßt. Die inneren Seiten des Kastens und des Deckels sind matt schwarz angestrichen (vgl. S. 311), ebenso die äußere Seite der schiefen Wand; im Uebrigen kann der Kasten des besseren Aussehens wegen mit farbigem Glanzpapier überzogen werden.

Ein rechteckiges Stückchen Fenster- oder Spiegelglas, 4^{cm} lang und 3^{cm} breit, das man mit Sprengkohle zurecht sprengt oder beim Glaser schneiden läßt, wird an den Rändern auf dem Schleifsteine abgestumpft und dann auf einer Seite mit Stanniol beklebt. Man bringt auf das Glas ein wenig Stärkekleister, legt ein Stück Stanniol von gleicher Größe mit dem Glase darauf und fährt, während man mit einigen Fingern der Linken das Stanniol festdrückt, um es vor dem Verschieben zu sichern, mit dem weichen, inneren Theile der Spitze des rechten Zeigefingers von der Mitte des Stanniols nach allen Richtungen hin bis zum Rande, so daß sich das Stanniol ganz dicht an das Glas anlegt und fast aller Kleister am Rande wieder herausgequetscht wird; es darf nur eine ganz geringe Spur davon zwischen dem Glas und dem Stanniol zurückbleiben, wenn letzteres festhalten soll. In dieses Stanniol macht man als Spalt einen 2^{cm} langen Schnitt mit einem Messer, das man an einem kleinen Lineal hinführt, damit er schön gerade wird. Der Schnitt soll den langen Seiten des Glasstücks parallel und von beiden gleich weit entfernt sein; gegen das Licht gehalten muß er als feine, ganz gleichmäßig helle Linie erscheinen. Mit Hülfe von vier Streif-

chen Papier leimt man das Glasstück vor dem rechteckigen Ausschnitt in der Wand des Pappkastens derart fest, daß die stanniolbeklebte Seite des Glases nach innen an die Pappe, die freie Seite des Glases nach außen kommt.

Der Kasten muß so hoch und breit sein, daß das Prisma P in der aus Fig. B ersichtlichen Stellung darin Platz findet; für ein Prisma von der in Fig. 277 angenommenen Größe wird man ihn 6cm hoch und 8cm breit machen. Die Winkel, welche die schräge Seite mit den beiden Längsseiten macht, sind aus der Figur B mit hinreichender Genauigkeit zu erkennen. Die Länge des Kastens soll womöglich 40cm betragen; wer eine 40cm entfernte feine Linie nicht mehr scharf und deutlich erkennen kann, bedient sich beim Hineinsehen in den Spectralapparat zweckmäßig einer Brille. Man kann den Kasten wol auch kürzer machen, doch erscheint dann das Spectrum nicht so lang, als bei größerem Abstande des Spaltes vom Prisma.

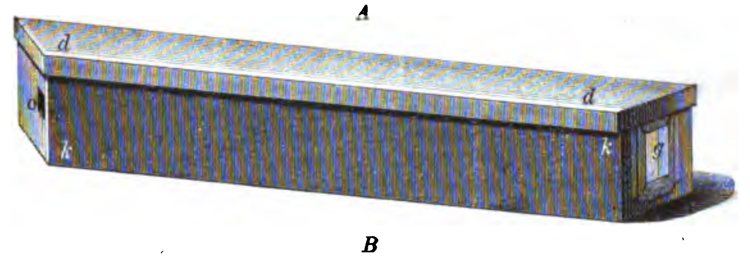
Das Sehloch für das Auge kommt nicht in die Mitte der schiefen Wand, sondern etwas rechts von der Mitte; wie weit seitwärts, das hängt von den Dimensionen des Kastens und des Prisma ab. Um die richtige Stelle für das Loch zu finden, verfährt man folgendermaßen: Man deckt den Deckel auf den Kasten und stellt auf diesen das Prisma ungefähr in der Stellung, die es später im Kasten erhalten soll. Eine kleine brennende Kerze stellt man gerade vor dem Spalt des Apparates so auf, daß sich die Flamme in gleicher Höhe mit dem Prisma befindet. Nun bringt man das Auge nahe an's Prisma; man erblickt die Flamme zu einem verwaschenen Spectrum auseinandergezogen. Durch geringes Drehen des Prisma nach rechts und nach links sucht man nun die Stellung, in welcher das Prisma die geringste Ablenkung hervorbringt, d. h. in welcher das Spectrum am wenigsten weit nach links geschoben erscheint. Hierauf geht man mit dem Auge einige Decimeter weit vom Prisma zurück, indem man aber immer darauf achtet, das Spectrum im Auge zu behalten. Ist das Prisma klein oder das Auge ziemlich weit entfernt, so sieht man nur noch einen Theil des Spectrums im Prisma; man suche nun durch Seitwärtsbewegen des Kopfes die Stellung, welche man dem Auge geben muß, um den gelben Theil des Spectrums gerade in der Mitte der brechenden Fläche des Prisma zu erblicken; in die Stelle der schrägen Wand, welche bei dieser Stellung des Auges gerade unter der Mitte der Prismenfläche erscheint, muß das Sehloch kommen. Das Loch macht man quadratisch (wie in der Figur) von 15mm Seite mit Hülfe eines scharfen Messers oder kreisrund von 15mm Durchmesser mit Hülfe eines Korkbohrers; es soll sich in halber Höhe des Kastens befinden, bei einem Kasten von 6cm Höhe soll also die Mitte des Loches 3cm über dem Boden des Kastens sein.

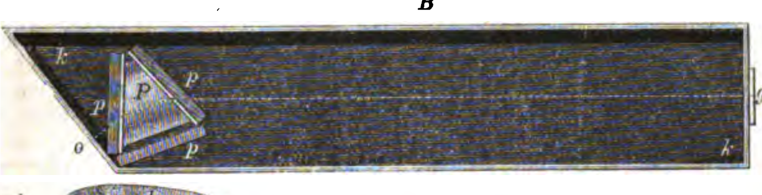
Nachdem das Sehloch angebracht ist, bringt man das Prisma in der aus B ersichtlichen Stellung in den Kasten, stellt die Flamme der Kerze oder einer Lampe in 4 bis 6cm Entfernung vom Spalt gerade vor ihm und in gleicher Höhe mit ihm auf, sieht durch das Loch und dreht abermals das Prisma etwas nach rechts und nach links, um die Stellung zu finden, in der das jetzt sichtbar werdende, weniger helle, aber schärfer begrenzte Spectrum des durch den Spalt fallenden Lichtes möglichst wenig nach links abgelenkt erscheint. Die so ausprobirte Stellung des Prisma sichert man dadurch, daß man drei Streifchen Pappe p p p (Fig. B) so auf den Boden des Kastens leimt, daß sie sich dicht an das Prisma anlegen; Letzteres ist dadurch vor zufälligen Verschiebungen geschützt und kann, wenn man es einmal herausgenommen hat, sofort wieder in richtiger Stellung eingesetzt werden.

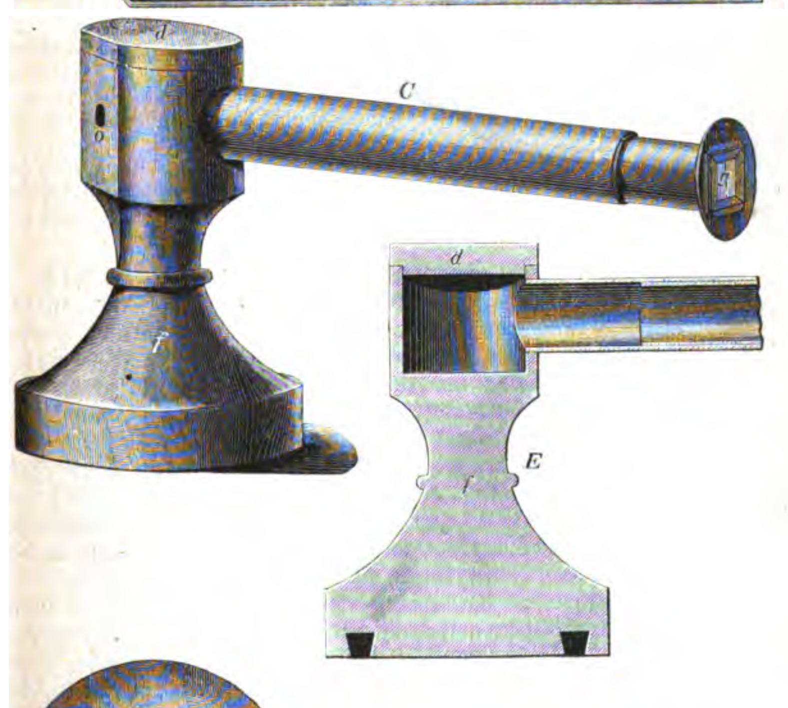
Der Apparat wird beim Gebrauche natürlich mit seinem Deckel bedeckt; um den Spalt bequem in gleiche Höhe mit der Flamme bringen zu können, welche man beobachten will, stellt man den Kasten auf eine Unterlage von Brettern oder von Büchern.

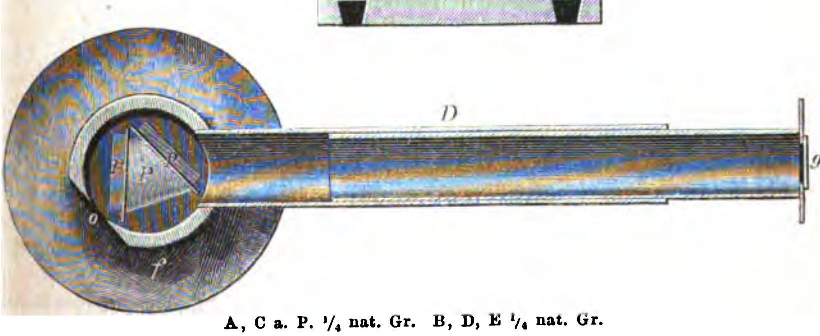
In Fig. 280 C bis E ist f ein Stück Holz, welches man sich so drehen läßt, daß es unten einen breiten Fuß von 15cm Durchmesser, oben eine runde Dose von 8cm innerer Weite, 6cm Tiefe und 5 bis 10mm Wandstärke bildet, die durch einen etwas eingreifenden Deckel d (Fig. C und E) verschlossen wird. Der Boden der Dose soll sich etwa 15cm über der Bodenfläche des Fußes befinden. Ist das Prisma kleiner, als das in Fig. 277 angenommene, so kann auch die zu seiner Aufnahme bestimmte

Fig. 280.









A, C a. P. 1/4 nat. Gr. B, D, E 1/4 nat. Gr.

Dose entsprechend kleiner sein. Soll der Holztheil des Apparates lackirt oder polirt werden, so darf das erst geschehen, nachdem man in ganz derselben Weise, wie bei dem vorherbeschriebenen Apparate die richtige Stelle für das Sehloch aufgesucht hat; nachdem dieses Loch 15^{mm} weit gebohrt ist, wird die äußere Seite der Dose rund um dasselbe eben gemacht, wie aus der Figur zu erkennen, so daß die Wand der Dose an der Stelle des Sehlochs ganz dünn wird. Der Spalt ist ganz so hergestellt wie der des vorhergehenden Apparates; das stanniolbelegte Glas ist festgeklebt auf einem Ausschnitt einer runden Pappscheibe von 5 bis 6^{cm} Durchmesser, die an einem Ende eines Papprohres sitzt, dessen anderes Ende in einer passenden Oeffnung der Dosenwand eingeleimt ist. Zweckmäßig ist es, wenn das Papprohr aus zwei ineinander verschiebbaren Theilen von je 25^{cm} Länge besteht, damit man die Entfernung des Spaltes vom Prisma nach Belieben verändern kann; das engere Rohr (das die Scheibe mit dem Spalt trägt) soll 2,5 bis 3^{cm} weit sein. Die richtige Prismenstellung wird ebenfalls durch drei auf den Boden der Dose geleimte Pappstreifen oder Holzleistchen p p gesichert, die innere Seite der Dose und des Deckels, sowie die ebene Fläche um das Sehloch werden matt schwarz angestrichen, die Röhren innen mit mattem, schwarzem Papier ausgeklebt.

Wenn das Holz, aus dem der Haupttheil des Apparates besteht, recht dicht und fest ist, so wird dieser von selbst schwer genug, um trotz des nach einer Seite vorragenden Rohres sicher zu stehen; besser noch ist es, den Fuß durch Blei zu beschweren. Für diesen Zweck läßt man in die Bodenfläche des Fußes eine etwa 1^{cm} weite und 1^{cm} tiefe, nach innen etwas erweiterte Rinne eindrehen, die man mit Blei (400 bis 500^{grm} ausgießt. Der Querschnitt dieser Rinne ist aus der Durchschnittsfigur E zu erkennen.

Zur Erzeugung der farbigen Dämpfe ist eine Wasserstoffflamme ihrer großen Hitze wegen am besten; hat man Leuchtgas, so kann man zu größerer Bequemlichkeit die Flamme des Bunsen'schen Brenners benutzen, doch erhält man mit dieser nicht ganz so schöne Spectra.

Anstatt der verschiedenen Flammenbilder unserer früheren Versuche erblicken wir, wie schon erwähnt, im Spectralapparat Bilder des Spaltes, d. i. feine, bunte Linien, die kurzweg Spectrallinien genannt werden. Natriumverbindungen geben eine gelbe, Lithiumverbindungen eine rothe, Kalkverbindungen eine orange und eine grüne Linie; die Spectren dieser Stoffe sind in Fig. II der Farbentafel dargestellt, die Art ihrer Entstehung ist nach den früheren Versuchen wol hinlänglich leicht verständlich. Die Verbindungen des Kaliums färben die nichtleuchtende Gas- oder Wasserstoffflamme blaß-violett, das Licht, welches ihre Dämpfe ausstrahlen ist zum Theil roth, zum Theil violett, zum Theil aus den mittleren Farben des Spectrums gemischt; das Spectrum muß also eine rothe und eine violette Linie zeigen; diese beiden Linien liegen aber an den äußersten Grenzen des Spectrums und sind ihrer geringen Lichtstärke wegen nur sehr schwer wahrzunehmen; mit unserem Spectralapparat ist nur die rothe gut zu erkennen, deshalb ist auch nur diese in Fig. II dargestellt. Zum Verdampfen in der Flamme eignet sich am besten das obenerwähnte kohlensaure Kalium, das unter dem Namen Potasche verkauft wird. Aufbewahren muß man die Potasche in einem Fläschchen oder einem Büchschen von Glas, weil sie an der Luft Feuchtigkeit anzieht und zerfließt; bei den Versuchen nehme man ziemlich viel davon auf den Draht; sie verdampft leicht. Manche andere Stoffe geben bei der Verdampfung in der Flamme viel zusammengesetztere Spectren, die aber auch noch aus einzelnen Linien bestehen, so z. B. die Verbindungen des Strontiums und des Bariums. Einige dieser Linien liegen einander so nahe (d. h. einige der Farben, welche diese Stoffe im dampfförmig glühenden Zustande ausstrahlen, sind so wenig verschieden brech-

bar), daß sie sich bei Anwendung eines so einfachen Spectralapparates, wie der unsrige ist, mit den Rändern berühren und zusammen den Eindruck streifiger Farbenbänder hervorbringen. Im Spectrum des Strontiums ist besonders ein breites, schön rothes Band, ein orange Streifen und eine schöne blaue Linie zu bemerken; letztere tritt nur bei genügender Hitze ordentlich hervor; in der Flamme des Bunsen'schen Brenners wird sie kaum wahrnehmbar, in der Wasserstoffflamme sehr deutlich. Diese blaue Strontiumlinie ist wirklich einfach und erscheint auch in größeren Spectralapparaten so, das rothe Band aber löst sich bei stärkerer Farbenzerstreuung in eine ganze Anzahl rother Linien von etwas verschiedener Färbung auf; ähnlich verhalten sich die Bänder des Bariumspectrums. Eine zu Spectralversuchen bequem zu verwendende Bariumverbindung, das Chlorbarium, ist in jeder Apotheke käuflich; die entsprechende Strontiumverbindung, das Chlorstrontium, ist nicht überall zu haben; man kann anstatt des letzteren auch das salpetersaure Strontium benutzen, das in der Feuerwerkerei zur Erzeugung des Rothfeuers verwendet wird und überall käuflich ist; von diesem bringe man nur ganz wenig auf den Platindraht und feuchte die geglühte Masse, wenn sie die Flamme nicht mehr gut färbt, mit etwas Salzsäure an.

Daß verschiedene Verbindungen eines und desselben Stoffes verschieden gut zur Erzeugung des betreffenden Spectrums zu verwenden sind, hat seinen Grund lediglich darin, daß sie verschieden leicht verdampfen. Außer den betrachteten sechs Stoffen können nur noch wenige, seltenere Stoffe in der Wasserstoffflamme verflüchtigt werden, dagegen lassen sich sehr viele andere Stoffe durch kräftige electrische Funken in glühende Dämpfe verwandeln, so z. B. die meisten Metalle; wieder andere Stoffe, z. B. der Wasserstoff, sind an und für sich schon gasförmig, erfordern aber die große Hitze des elektrischen Funkens, um so stark glühend zu werden, daß sie eine merkliche Lichtmenge ausstrahlen; jeder Stoff aber, der auf irgend eine Weise in den glühend dampfförmigen (oder gasförmigen) Zustand gebracht werden kann, zeigt bei der Untersuchung mit dem Spectralapparat ganz bestimmte, einzelne Farben (Spectrallinien), an denen er leicht zu erkennen ist.

Für chemische Untersuchungen ist die Spectralanalyse von großer Wichtigkeit. Wenn man eine kleine Menge eines unbekannten Körpers in der Flamme oder durch den elektrischen Funken verdampft und das dabei von ihm ausgestrahlte Licht durch den Spectralapparat zerlegt, kann man aus dem Auftreten dieser oder jener Spectrallinien sehr leicht diesen oder jenen Stoff, dem die Linien eigenthümlich sind, als einen Bestandtheil des untersuchten Körpers erkennen. Auf solche Weise hat man nicht nur gewisse Stoffe in vielen Körpern nachweisen können, in denen man sie früher nicht aufgefunden hatte, weil sie nur in sehr geringer Menge darin enthalten sind, man ist auch durch die Spectralanalyse auf die Entdeckung von vorher ganz unbekannten Stoffen geführt worden. Man hatte bei der Prüfung von mineralischen Körpern Linien auftreten sehen, welche keinem der bis dahin bekannten Stoffe angehören; nachdem man wußte, daß hier ein noch unerkannter Stoff vorliegen müsse, gelang es bald, chemische Mittel zu finden, um ihn von den andern Stoffen, mit denen er untermengt vorkam, zu trennen. So sind bis jetzt vier neue Stoffe, Caesium, Rubidium, Thallium und Indium entdeckt worden.

Von ganz besonderer Wichtigkeit sind aber die Ergebnisse der Spectralanalyse des Sonnenlichtes. Das Spectrum, welches man erhält, wenn man

ein Bündel Sonnenstrahlen, die durch ein Prisma gegangen sind, auf der Wand auffängt oder das man beim Hinblicken durch das Prisma nach dem im Fenster aufgestellten, breiten Schlitz in einem Pappstück erblickt, unterscheidet sich von dem in Fig. II dargestellten Spectrum einer Kerzenflamme, das mit dem Spectrum jedes weißglühenden, starren oder tropfbaren Körpers übereinstimmt, nicht wesentlich; nur der violette Theil ist etwas größer. Das Sonnenlicht enthält mehr violette Strahlen, als das Licht unserer Kerzen und Lampen und deshalb erscheint jenes, wenn man beide vergleicht, etwas bläulich, dieses etwas gelblich. Nimmt man aber eine genauere Zerlegung des Sonnenlichtes vor mit Hülfe des Spectralapparates, so zeigt sich im Sonnenspectrum eine Anzahl dunkler Linien, welche nach ihrem Entdecker Fraunhofer'sche Linien genannt werden. Unser Spectralapparat zeigt deren hauptsächlich drei, eine im Gelb, eine im Grün und eine im Blau, die auch in dem in Fig. II dargestellten Sonnenspectrum angegeben sind. Bei genauer Betrachtung erscheint das ganze Spectrum etwas streifig; besonders im Grün und Blau ist dieses streifige Aussehen ziemlich deutlich erkennbar. Bei Anwendung größerer, viel stärker zerstreuender Spectroskope erblickt man solcher Fraunhofer'scher Linien eine außerordentliche große Zahl, mit den größten Spectroskopen mehrere Tausend. Das streifige Aussehen des Spectrums in unserem Apparate rührt daher, daß in ihm diese Linien viel zu dicht beisammen liegen, um einzeln wahrgenommen zu werden; nur die deutlichsten von ihnen, die oben erwähnten drei, erscheinen als wirkliche, dunkle Linien, während ganze Gruppen anderer Linien zu den streifigen Schattirungen unseres Spectrums zusammenfließen.

Um das Spectrum des Sonnenlichtes zu beobachten, darf man nicht Sonnenstrahlen unmittelbar in unser Spectroskop fallen lassen; dieselben sind für das Auge viel zu hell. Man muß vielmehr das Spectroskop auf eine von der Sonne beschienene, weiße Wand, auf eine Stelle des hellen Himmels oder auf eine ganz lichte Wolke richten. Die unteren Theile des Himmels sind aber an trüben Tagen nicht hell genug; ein Aufwärtsrichten des Spectralapparates ist nicht gut thunlich, weil dabei das Prisma sich verrücken oder umfallen kann; man benutzt dann einen kleinen Spiegel, den man in einem Retortenhalter befestigt und so richtet, daß er das Licht des Himmels oder der Wolke in wagrechter Richtung auf den Spalt wirft; durch einiges Probiren findet man bald die richtige Stellung. Man nimmt zuerst den Spiegel in die Hand, um ihn bequem drehen und wenden zu können; hat man die erforderliche Lage ohngefähr ermittelt, so klemmt man ihn so richtig als möglich in die Gabel des Halters und sucht dann durch Drehen und Verschieben die genaue Stellung zu bewirken.

Nachdem wir gelernt haben, daß eine einzelne Farbe, welche ein glühender Dampf ausstrahlt, ein einzelnes Bild des Spaltes, eine farbige Linie hervorbringt und daß das zusammenhängende Spectrum des in einer Flamme glühenden Rußes anzusehen ist als eine ununterbrochene Aneinanderlagerung aller möglichen solchen farbigen Spaltbilder — nachdem wir wissen, daß jeder einzelnen Farbe eine ganz bestimmte Stelle im Spectrum zukommt, kann es uns nicht schwer fallen, zu begreifen, daß dunkle Linien im Spectrum entstehen müssen, wenn nicht alle Farben vorhanden sind, sondern einzelne Farben fehlen. Das Vorhandensein der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum ist also ein Beweis, daß im Sonnenlichte von der unendlich großen Zahl aller möglichen Farben eine Anzahl bestimmter Farben fehlen.

Unter den selbstleuchtenden Körpern, welche wir uns künstlich verschaffen können, giebt es keinen, welcher für sich allein ein Spectrum von der Art

giebt, wie das Sonnenspectrum ist; unsere glühenden Gase und Dämpfe geben, wie schon gesagt, einzelne helle Linien, unsere glühenden starren und tropfbaren Körper zusammenhängende Spectren ohne dunkle Linien. Wir können aber künstlich Licht herstellen, welches ein ähnliches Spectrum giebt, wie das Sonnenlicht, indem wir das Licht eines sehr hell weißglühenden Körpers durch einen glühenden Dampf hindurchgehen lassen. Dabei zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, daß im Lichte eines weißglühenden starren Körpers, welches durch einen glühenden Dampf hindurchgegangen ist, gerade diejenigen Farben fehlen, welche der glühende Dampf für sich allein ausstrahlt.

Mit Hülfe einer besonderen Vorrichtung kann man ein Stück Kalk so stark weißglühend machen, daß es ein blendendes Licht ausstrahlt [52], das sogenannte Drummond'sche Kalklicht; läßt man dieses auf den Spalt des Spectroskops fallen, so erhält man ein glänzendes Spectrum, welches wie das des in einer Lampenflamme glühenden Rußes vollkommen zusammenhängend ist. Stellt man zwischen den Spalt und dem glühenden Kalkstück eine brennende Weingeistlampe auf, so daß das Kalklicht durch die Weingeistflamme hindurchgehen muß, so erscheint das Spectrum noch unverändert; die an sich sehr lichtschwache Weingeistflamme übt auf das durch sie hindurchfallende Licht keinen merklichen Einfluß aus; bringt man aber auf den Docht der Weingeistlampe etwas Chlorlithium, so daß die Flamme roth gefärbt wird, so erscheint im rothen Theile des Kalklichtspectrums eine dunkle Linie. Stellt man jetzt einen undurchsichtigen Schirm zwischen das glühende Kalkstück und die gefärbte Weingeistamme, so daß nur das Licht der letzteren in das Spectroskop gelangen kann, so erblickt man die rothe Lithiumlinie und man erkennt leicht, daß dieselbe genau an derselben Stelle liegt, an der vorher die dunkle Linie erschien.

Diese wunderbare Erscheinung, die Umkehrung einer Spectrallinie, d. h. die Verwandlung einer hellen Linie in eine dunkle läßt sich in Ermangelung des Kalklichtes auch mit Sonnenlicht ausführen. Das Sonnenspectrum zeigt an der Stelle, welche der Lithiumlinie entspricht, keine dunkle Linie, bringt man vor den Spalt des Spectralapparates, in den Sonnenlicht fällt, eine durch Chlorlithium gefärbte Weingeistflamme, so daß das Sonnenlicht durch sie hindurchgeht, so erscheint sofort im rothen Theile des Spectrums die dunkle Linie.

Mit unserem einfachen Spectralapparat läßt sich diese Umkehrungsweise einer hellen Spectrallinie nicht ausführen; das weiße Licht muß außerordentlich hell sein, um die Umkehrung zu bewirken; leitet man aber die wirklichen, unmittelbar von der Sonne kommenden Strahlen oder die des Kalklichtes in unser Spectroskop, so erhält man ein Spectrum, welches so blendend ist, daß das Auge nichts Genaues zu erkennen vermag und auch die dunklen Linien nicht bemerkt; größere, zusammengesetzte Spectralapparate verringern die Helligkeit so, daß sie das Auge nicht mehr zu sehr belästigt und zeigen darum die Umkehrung der Lithiumlinie (und anderer heller Spectrallinien) sehr gut. Wir werden aber weiter unten noch eine etwas andere Art der Umkehrung kennen lernen, die sich gerade mit unserem einfachen Spectroskop recht gut ausführen läßt.

Bringt man zwischen den glühenden Kalk und den Spalt des Spectral-

[52] Es geschieht dies mit Hülfe einer durch ein Gemenge von Weingeist und Aether gespeisten Lampe, in deren Flamme man einen Strom von reinem Sauerstoffgas hineinbläßt, welcher die Hitze derselben ganz außerordentlich verstärkt.

apparates eine Weingeistflamme, die durch etwas auf den Docht gebrachtes Kochsalz gelb gefärbt ist, so erscheint im gelben Theile des Kalklichtspectrums eine dunkle Linie wiederum genau an der Stelle, an der man die gelbe Natriumlinie erblickt, wenn man das Kalklicht durch einen Schirm verdeckt. Wendet man für diesen Versuch anstatt des Kalklichtes Sonnenlicht an, so zeigt sich, daß die Natriumlinie genau mit einer der früher erwähnten, dunklen, Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum zusammenfällt; beim Vorsetzen der gelben Natriumflamme vor den Spalt tritt nicht eine neue dunkle Linie im Sonnenspectrum auf, sondern es wird nur die im Gelb liegende Fraunhofer'sche Linie dunkler und deutlicher, als sie erst ist.

Es fragt sich nun, wie es möglich ist, daß das weiße Licht eines starren Körpers, welches alle Farben enthält, mit dem Lichte eines glühenden Dampfes, welches eine oder einige dieser Farben enthält, ein Spectrum geben kann, in dem gerade diese eine oder diese einzelnen Farben fehlen. Man sollte von vornherein wol erwarten, daß bei dem ersten Versuche mit Kalk- oder Sonnenlicht und der Lithiumflamme das Hinzukommen des rothen Lithiumlichtes zu dem für sich allein vorhandenen, ununterbrochenen Spectrum das Auftreten einer besonders hellen Linie im rothen Theile des Spectrums bewirken müßte; anstatt verstärkt zu erscheinen, verschwindet aber das Lithiumroth, anstatt der rothen Linie erscheint eine dunkle.

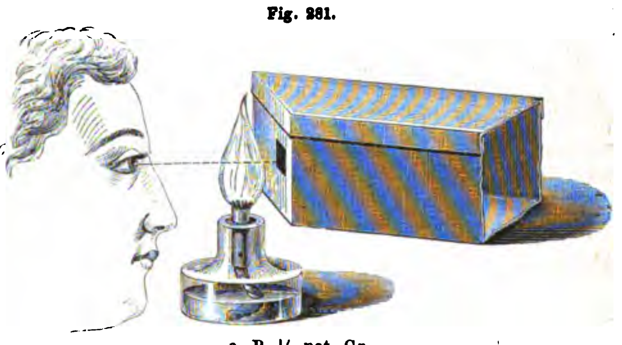
Zunächst muß bemerkt werden, daß die dunklen Fraunhofer'schen Linien und bei der Umkehrung die künstliche, dunkle Lithiumlinie nicht vollkommen schwarz sind, sondern nur lichtschwächer, als ihre Umgebung. Das menschliche Auge ist sehr empfänglich für die Wirkung des Gegensatzes (Contrastwirkung); ein mäßig heller Gegenstand erscheint uns in einer dunklen Umgebung viel heller, in einer hellen Umgebung viel dunkler, als wenn die Umgebung mit ihm gleiche Helligkeit hat. Läßt man die Umgebung eines mäßig hellen Gegenstandes allmählig heller werden, während dieser selbst seine Helligkeit nicht ändert, so erscheint es unserem Auge, als ob der Gegenstand dunkler würde. (Dies läßt sich recht gut beobachten beim Rumford'schen Photometer. Zu diesem Zwecke stellt man eine brennende Kerze ziemlich nahe [20 bis 30cm] von dem schattenwerfenden Körper auf, eine hellbrennende Lampe in viel größerer Entfernung, so daß der von der Kerze geworfene Schatten viel dunkler ist, als der von der Lampe geworfene. Schiebt man nun die Lampe in gerader Richtung auf den schattenwerfenden Stab zu, so daß der Schatten seinen Ort nicht verändert, so ändert sich natürlich in Wirklichkeit dessen Helligkeit nicht, weil er nach wie vor von der an ihrer Stelle gebliebenen Kerze beleuchtet ist; die Helligkeit der unbeschatteten Fläche aber nimmt zu und dieses Hellerwerden macht auf das Auge den Eindruck, als ob der von der Lampe geworfene Schatten dunkler würde.)

Die Fraunhofer'schen Linien und die künstlich erzeugten dunklen Linien erscheinen, wenn das Spectrum recht hell ist, manchmal geradezu schwarz, aber sie erscheinen nur so durch den Gegensatz gegen ihre hellere Umgebung, in Wirklichkeit sind sie sogar noch heller als die hellen Linien, welche man erhält, wenn man das Licht eines glühenden Dampfes allein in den Spectralapparat fallen läßt.[53] Daß die dunklen Linien aber weniger hell sind, als ihre Umgebung, ist in einem eigenthümlichen Verhalten glühend leuchtender Dämpfe

[53] Dies läßt sich unmittelbar durch Versuche nachweisen, welche aber große und sehr zusammengesetzte Spectroskope erfordern.

begründet. Diese sind nämlich nicht für alle Farben gleich durchsichtig, sie lassen Strahlen von der Farbe, welche sie selbst ausstrahlen, nur zum Theil durch und verschlucken (absorbiren) sie zum großen Theile, während sie Strahlen von allen anderen Farben ungeschwächt durchlassen. Beispielsweise ist der gelbe Dampf glühender Natriumverbindungen für Strahlen derselben gelben Farbe sehr unvollkommen, für Strahlen aller anderen Farben vollkommen durchsichtig. Um sich von dieser Eigenschaft des Natriumdampfes zu überzeugen, stellt man eine kleine Petroleumlampe vor den Spalt unseres Spectralapparates und bringt dann zwischen das Auge und den Apparat eine durch Kochsalz stark gelb gefärbte Weingeistflamme, Fig. 281. Ehe man die gelbe Flamme zwischen Apparat und Auge bringt, erblickt man das zusammenhängende Spectrum des in der Petroleumflamme glühenden Rußes in lebhaftem Glanze. Man hält nun die Weingeistflamme möglichst dicht an die Oeffnung des Apparates und nähert das Auge so weit, als man kann, ohne durch die strahlende Wärme der Flamme belästigt zu werden. In solch unmittelbarer Nähe erkennt man die Flamme nicht scharf, sondern man erblickt nur einen gelben Schein, der sich über alles verbreitet, was man sieht, also auch über das im Apparat erscheinende Spectrum. Daß man dieses Spectrum noch sieht, ist ein Beweis, daß der gelbleuchtende Natriumdampf die verschiedenen Farben ungehindert durchgehen läßt; die Reinheit der Farben muß natürlich etwas vermindert werden durch das gelbe Licht, das sich ihnen allen beimischt. Im gelben Theile des Spectrums aber erscheint eine dunkle Linie und zwar genau an der Stelle, welche dem Gelb des Natriumdampfes entspricht; es geht also dieses Gelb nicht durch den Dampf hindurch, sondern wird von ihm verschluckt, zwar nicht vollkommen, aber doch so stark, daß die betreffende Stelle des Spectrums viel dunkler, als das übrige und durch den Gegensatz manchmal fast schwarz erscheint.

Fig. 281.



a. P. 1/4 nat. Gr.

Die Entfernung der Petroleumflamme vom Spalt des Apparates betrage 10^{cm}, den Spalt mache man schmal, womöglich nicht über $0^{mm},2$ bis $0^{mm},3$ breit. Die Weingeistflamme muß sehr stark gelb sein, wenn die Natriumlinie recht dunkel erscheinen soll. Man kann den Docht der Lampe mit etwas Kochsalz bestreuen und ihn dann stark zwischen den Fingern reiben; bei diesem Verfahren ist aber die Flamme nur in den ersten Augenblicken nach dem Anzünden stark genug gelb, um die Erscheinung deutlich sehen zu lassen; besser ist es, den Weingeist vor dem Einfüllen in die Lampe mit etwa dem zehnten Theile seines Volumens Wasser zu vermischen und mit einigen Messerspitzen voll Kochsalz tüchtig zu schütteln, damit er von diesem möglichst viel auflöst. Die Flamme dieses salzhaltigen Weingeistes vermag die dunkle Linie auf die Dauer hervorzubringen; zweckmäßig ist es, auch diese Flamme von Zeit zu Zeit auszulöschen und den Docht etwas zwischen den Fingern zu reiben. Um die dunkle Linie deutlich zu erkennen, ist nothwendig, daß sich das Auge der Entfernung

des Spaltes gehörig anpaßt. Hält man eine Nadel in wagrechter Lage dicht vor die Mitte des Spaltes (oder befestigt sie da mit etwas Wachs), so daß sie die Mitte des Spaltes verdeckt, so erblickt man durch das Prisma diese dunkle Stelle über die ganze Länge des Spectrums ausgedehnt, d. h. als eine wagrechte, schwarze Linie, die das ganze Spectrum in zwei Hälften theilt. Sobald das Auge diese Linie deutlich erkennt, hat es auch die richtige Einstellung, um die senkrecht stehende dunkle Natriumlinie zu sehen und so wird das Auffinden der Letzteren durch die Erstere erleichtert.

Wir haben in diesem Versuche auch eine Art Umkehrung der Natriumlinie vor uns, aber nicht ganz die nämliche, wie die oben besprochene Umkehrung im Sonnenlicht oder Kalklicht. Stellen wir unsere Weingeistflamme zwischen den Spalt und die Petroleumlampe, anstatt zwischen das Prisma und das Auge, so erblicken wir die Natriumlinie nicht dunkel, sondern hellglänzend, viel heller, als das zugleich sichtbare, zusammenhängende Spectrum der Petroleumflamme. Bei dieser Stellung dient alles von der gelben Flamme durch Spalt und Prisma in's Auge fallende Licht nur dazu, die gelbe Linie im Spectrum zu erzeugen und diese erscheint viel heller, als das übrige Spectrum. Der gelbglühende Dampf verschluckt zwar einen großen Theil der durch ihn gehenden gleichfarbigen Strahlen des Petroleumlichtes, aber dieser Verlust ist viel geringer, als die Menge gelben Lichtes, die er selbst ausstrahlt. Steht dagegen die gelbe Flamme zwischen Prisma und Auge, so bringt das von ihr ausgehende Licht nicht eine einzelne helle Linie hervor, sondern sie erhellt das ganze Spectrum gleichmäßig, weil sie es vollkommen überdeckt; da im Spectrum der Petroleumflamme an und für sich die Stelle der Natriumlinie und ihre Umgebung gleich hell sind, so müßten sie es auch nach der gleichmäßigen Erhellung durch die Natriumflamme wieder sein, wenn diese alles Licht der Petroleumflamme ungehindert durchgehen ließe; soviel nun die Natriumflamme von dem gelben Lichte der Petroleumflamme verschluckt, um so viel erscheint die Natriumlinie gegen ihre Umgebung verdunkelt.

Wenn, wie bei den zuerst besprochenen Umkehrungsversuchen, der farbige, glühende Dampf (Natrium, Lithium) sich zwischen dem weißglühenden Körper und dem Spalt des Spectrums befindet, so kann die helle Linie, welche der Dampf allein geben würde, nur in dem Falle gegen ihre Umgebung dunkel erscheinen, daß der Dampf viel weniger Licht selbst ausstrahlt, als er von dem gleichfarbigen Lichte des weißglühenden Körpers verschluckt, also nur dann, wenn das Licht des weißglühenden Körpers außerordentlich viel heller ist, als das des Dampfes.

Ein Spectrum, welches die dunkle Natriumlinie zeigt, im Uebrigen aber zusammenhängend erscheint, läßt sich außer durch Kalklicht und eine natriumgefärbte Weingeistflamme noch auf mannichfache, andere Weise erhalten; alle Verfahrungsweisen stimmen aber darin überein, daß das Licht eines sehr stark weißglühenden starren oder tropfbaren Körpers durch weniger stark glühenden Natriumdampf hindurchgeht; man kann nun annehmen, daß auch die genau an der Stelle der Natriumlinie liegende dunkle Fraunhofer'sche Linie im Sonnenspectrum auf dieselbe Weise entsteht. Man denkt sich, daß die Sonne ein außerordentlich stark glühender (wahrscheinlich glühend flüssiger) Körper ist, umgeben von einer schwächer glühenden Dampfhülle.[54] Daß

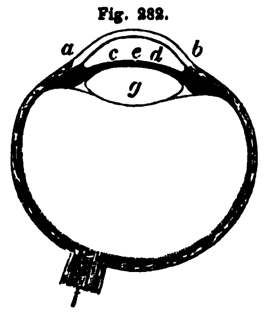
[54] Früher hatte man von der Beschaffenheit der Sonne eine ganz andere Vorstel-

die Sonne eine ganz außerordentlich große Hitze besitzen muß, geht schon daraus hervor, daß ihre Strahlen eine trotz der ungeheuren Entfernung sehr fühlbare Wärme besitzen und daß die Hülle von Dämpfen, welche einen so heißen Körper umgiebt, weniger stark glüht, als dieser selbst, ist die nothwendige Folge davon, daß diese Hülle fortwährend Wärme an den umgebenden, kälteren Weltraum abgiebt. Ließe sich nur die einzige Natriumlinie durch diese Annahme über die Beschaffenheit der Sonne erklären, so könnte es zweifelhaft erscheinen, ob diese Annahme gerechtfertigt sei, wennschon sie an und für sich nichts Unwahrscheinliches hat; durch sehr sorgfältige, mit großen Apparaten ausgeführte Untersuchungen der Spectren der Sonne und der Dämpfe von glühenden, irdischen Körpern hat sich aber herausgestellt, daß noch eine außerordentlich große Zahl anderer Fraunhofer'scher Linien ganz genau an den Stellen des Spectrums liegen, an denen glühende Dämpfe helle Linien geben; es läßt sich also auch die Entstehung dieser Fraunhofer'schen Linien in derselben Weise erklären, wie die der Natriumlinie. Beispielsweise strahlt das durch starke, elektrische Funken in glühenden Dampfzustand versetzte Eisen Licht aus, dessen Spectrum aus 80 einzelnen, hellen Linien besteht und ganz genau an den Stellen dieser 80 hellen Linien zeigt das Sonnenspectrum Fraunhofer'sche dunkle Linien; Aehnliches ist bei vielen anderen Stoffen der Fall. Man wird also unsere Annahme über die Beschaffenheit der Sonne sicher für richtig halten dürfen und auf die Anwesenheit von Eisen und anderen irdischen Körpern in der glühenden Dampfhülle der Sonne schließen dürfen.

Diese Andeutungen mögen genügen, darzuthun, daß uns die Spectralanalyse des Lichtes von unendlich entfernten Himmelskörpern die wunderbarsten Aufschlüsse über deren Beschaffenheit geben kann; die Gränzen unseres Buches gestatten nicht, alle die großartigen Ergebnisse aufzuzählen, welche die Spectralanalyse geliefert hat in Bezug auf die Beschaffenheit nicht nur der Sonne, sondern auch noch viel entfernterer Himmelskörper, der Fixsterne und Nebelflecken.

42. Auge, Sehen, Optische Instrumente. Das Auge hat in seiner Einrichtung ziemliche Aehnlichkeit mit einer Camera obscura. Fig. 282 zeigt einen wagrechten Durchschnitt durch den rechten Augapfel. Der Augapfel ist ohngefähr kugelförmig, er ist umschlossen und erhält seine Gestalt durch eine starke, knorpelige, sehr feste Haut, welche zum größten Theile weiß und undurchsichtig, nur vorn farblos und durchsichtig ist. Der undurchsichtige Theil ist in unserer Figur schraffirt, der durchsichtige Theil von a bis b — die Hornhaut — blos durch zwei Linien angedeutet. Die durchsichtige Hornhaut ist, wie aus der Figur zu erkennen, etwas stärker gewölbt, als der übrige Theil der Augenwandung. Innerhalb der undurchsichtigen, weißen Hülle des Auges liegt eine von vielen feinen Aederchen durchzogene, sehr dunkelgefärbte Haut, die Aderhaut, in der Figur durch eine ziemlich starke, schwarze Linie angedeutet. Am vorderen Theile des Auges

Fig. 282.



$^1/_1$ nat. Gr.

lung, die aber an und für sich schon höchst unwahrscheinlich war und mit den Ergebnissen der neueren, spectral-analytischen Forschungen ganz unvereinbar ist.

geht die Aderhaut über in die Regenbogenhaut oder Iris c d, welche aus feinen Muskelfasern besteht und in der Mitte eine kreisförmige Oeffnung e — die Pupille — hat. An der nach außen gewendeten Seite der Regenbogenhaut sind die Fasern strahlig angeordnet und bei verschiedenen Personen verschiedenartig gefärbt; Iris und Pupille sind durch die durchsichtige Hornhaut bequem zu sehen. Innerhalb der Aderhaut liegt die Netzhaut, in der Figur durch kurze Strichelchen angegeben. Diese sehr zarte, beinahe schleimige Haut ist eine Ausbreitung des Sehnerven f, welcher an der Hinterseite des Auges in dasselbe eintritt. Dicht hinter der Regenbogenhaut befindet sich die Krystalllinse g, eine ziemlich feste, knorpelige Masse, welche nahezu die Form einer Biconvexlinse hat, sehr vollkommen durchsichtig und stark lichtbrechend ist. Der Raum zwischen der Regenbogenhaut und der durchsichtigen Hornhaut ist von einer klaren, schwach salzigen Flüssigkeit, der sogenannten wässerigen Flüssigkeit, der größere Raum zwischen Krystalllinse und Netzhaut von einer sehr durchsichtigen, gallertartigen Masse, dem sogenannten Glaskörper erfüllt.

Die Krystalllinse mit dem davor befindlichen concavconvexen, von der wässerigen Feuchtigkeit erfüllten Raume bildet eine zusammengesetzte Sammellinse von kleiner Brennweite, welche von den vor der Pupille befindlichen Gegenständen ein verkehrtes, verkleinertes, reelles Bild auf der Netzhaut ganz in derselben Weise entwirft, wie die Linse der Camera obscura die Bilder auf der mattgeschliffenen Glastafel erzeugt. Die Nervenmasse, aus welcher die Netzhaut besteht, besitzt die Fähigkeit, das auf sie fallende Licht zu empfinden und diese Empfindung vermittelst des nach dem Gehirn führenden Sehnerven zu unserem Bewußtsein zu bringen; über die geheimnißvolle Art und Weise der Thätigkeit der Augennerven kann hier nichts Näheres mitgetheilt werden. Es mag für uns genügen, zu wissen, daß wir nur dann ein deutliches Bild eines vor uns betrachteten Gegenstandes erblicken, wenn das von der Krystalllinse erzeugte, reelle Bildchen desselben auf der Netzhaut scharf und deutlich begrenzt ist. Hat das Netzhautbildchen verwaschene Ränder — wie man sie an Linsenbildern bemerkt, die man durch einen nicht genau an der richtigen Stelle stehenden Schirm auffängt oder wie sie die Bilder der Camera obscura zeigen, wenn das Linsenrohr nicht die für die Entfernung des Gegenstandes passende Stellung hat — so erblicken wir die Gegenstände undeutlich und verschwommen. Bei der Camera obscura ändern wir durch Verschieben des Rohres die Entfernung der Linse von der auffangenden Glastafel, je nachdem sich nahe oder entfernte Gegenstände abbilden sollen; ein gesundes Auge hat ebenfalls die Fähigkeit, sich nach Bedürfniß so zu ändern, daß bald von nahen, bald von entfernten Gegenständen ein scharfes Bild auf der Netzhaut entsteht, diese Fähigkeit heißt das Accommodationsvermögen. Es findet dabei eine Aenderung der Entfernung der Krystalllinse von der Netzhaut dadurch statt, das die Krystalllinse sich etwas vorschiebt oder zurückzieht; wahrscheinlich gehen auch im Inneren der Linse Veränderungen vor, welche ihre Brennweite bald größer, bald kleiner werden lassen — eine Linse von etwas größerer Brennweite kann ein Bild eines entfernten Gegenstandes in derselben Entfernung geben, wie eine Linse von etwas kleinerer Brennweite das Bild eines näheren Gegenstandes. Ein ganz gesundes Auge muß sich allen Entfernungen anpassen können, welche größer sind als 20^{cm}; durch Krankheit oder Mangel an Uebung wird das Accommodationsvermögen leicht beschränkt; Personen,

welche bei ihrer Arbeit hauptsächlich in der Nähe zu thun haben (Schreiber, Musterzeichner u. dgl), verlieren leicht die Fähigkeit, ihre Augen größeren Entfernungen anzupassen, sie werden kurzsichtig; solche, die vorwiegend in die Ferne zu sehen haben (Forstleute, Seeleute), verlernen leicht, die Augen auf nahe Gegenstände einzustellen, sie werden weitsichtig. Im höheren Alter werden die meisten Augen weitsichtig.

Bei kurzsichtigen Augen ist die Brennweite der Krystalllinse klein, die Bilder entfernter Gegenstände fallen dann zu nahe an die Linse, also vor die Netzhaut, bei weitsichtigen Augen ist das Umgekehrte der Fall. Durch passend geschliffene Brillengläser, die man dicht vor dem Auge anbringt, lassen sich die Fehler der Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit verbessern. Wie bei einer Glaslinse, so ist auch bei der Krystalllinse des Auges die Brennweite um so kleiner, je stärker sie gewölbt ist, bei einem weitsichtigen Auge ist also die Wölbung zu schwach, bei einem kurzsichtigen zu stark; ein weitsichtiges Auge erfordert deshalb ein convexes, ein kurzsichtiges Auge ein concaves Brillenglas. Das convexe Glas wirkt mit der zu schwach gewölbten Krystalllinse zusammen wie eine stärker gewölbte Linse, das concave Glas mit der zu stark gewölbten Linse zusammen wie eine schwächer gewölbte.

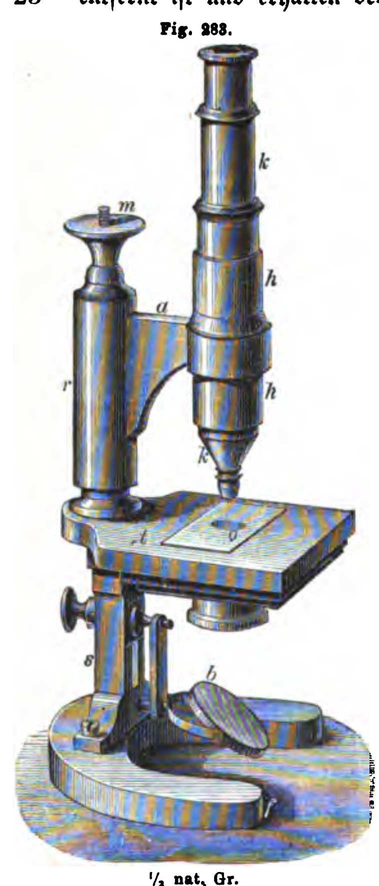
Stellt man sich an ein Fenster, das Gesicht nach diesem gewendet und hält vor ein Auge einen kleinen Spiegel, so daß man das Spiegelbild des Auges erblickt, neben dem Spiegel vorbei aber noch eine reichliche Lichtmenge in's Auge gelangt, so erscheint die Pupille ziemlich klein, so daß die Regenbogenhaut einen breiten Ring bildet. Wendet man sich dann mit dem Gesicht nach dem Inneren des Zimmers und betrachtet wieder das Auge im Spiegel, so erscheint die Pupille viel größer, die Regenbogenhaut zu einem schmalen Ring zusammengezogen. Diese unwillkürlich und unbewußterweise bei jedem Wechsel der Helligkeit eintretende Größenveränderung der Pupille hat den Zweck, in jedem Falle eine passende Lichtmenge in's Auge gelangen zu lassen; bei geringer Helligkeit wird die Pupillenöffnung groß, damit nicht zu wenig, bei großer Helligkeit wird sie klein, damit nicht zu viel Licht hindurchgehen kann. Ist die ins Auge tretende Lichtmenge zu gering, so vermag sie keinen hinlänglich starken Eindruck auf die Nervenmasse der Netzhaut zu machen, ist sie zu groß, so wird die Netzhaut übermäßig gereizt, das Auge wird geblendet.

Wenn man einen Gegenstand deutlich sehen will, so wendet man ihm gewöhnlich den Kopf zu; überdies richtet sich das Auge selbstständig und fast unwillkürlich genau auf den betrachteten Gegenstand, so daß dessen Bild auf den mittleren, der Pupille gerade gegenüberliegenden Theil der Netzhaut fällt. Eine gerade Linie, die man sich durch die Mitte der Pupille nach dem gegenüberliegenden Netzhautpunkte gezogen denkt, nennt man die Sehaxe; man kann also auch sagen: beim Betrachten eines Gegenstandes stellt sich das Auge immer so, daß der Gegenstand in die Richtung der Sehaxe kommt.

Je näher man einen Gegenstand dem Auge bringt, um so größer wird das Bild desselben auf der Netzhaut, um so größer erscheint uns dasselbe. Mit der scheinbaren Größe nimmt zugleich die Deutlichkeit des gesehenen Gegenstandes zu, so lange sein Bild auf der Netzhaut noch scharf begrenzt ist. Im Durchschnitt sieht man einen Gegenstand am deutlichsten, wenn er etwa 25^{cm} vom Auge entfernt ist; man nennt diese Entfernung die deutliche Sehweite. Rückt der Gegenstand weiter vom Auge fort, so wird

sein Bild kleiner und darum weniger deutlich; rückt er beträchtlich näher, so wird das Bild auf der Netzhaut verwaschen und deshalb auch undeutlich. Kurzsichtige Augen sehen einen Gegenstand in größerer Nähe noch scharf begrenzt und also etwas größer und deutlicher, als andere; weitsichtige Augen können einen Gegenstand nur dann scharf begrenzt sehen, wenn er weiter als 25cm entfernt ist und erhalten deshalb ein kleineres Bild von ihm.

Fig. 283.



1/4 nat. Gr.

Sehr oft wünscht man nahe oder entfernte Gegenstände größer und deutlicher zu sehen, als es mit bloßem Auge möglich ist; man bedient sich dann besonderer **optischer Instrumente**, der **Vergrößerungsgläser** (**Mikroskope**) und der **Fernrohre** (**Teleskope**). Zu den Mikroskopen gehören eigentlich schon die S. 299 erwähnten **Lupen**, welche, dicht vor das Auge gehalten, ein vergrößertes, aufrechtes virtuelles Bild des Gegenstandes geben, den man in passender Entfernung von der Lupe hält.[55] Um eine starke Vergrößerung zu erzielen, wendet man immer **zusammengesetzte** Mikroskope an, welche aus mehreren, in einem Rohre gefaßten Linsen bestehen. Die Einrichtung und Wirkungsweise der zusammengesetzten Mikroskope und der Fernrohre genau zu erläutern, ist in unserem Buche nicht möglich; wir müssen uns begnügen, ein ohngefähres Bild von der Wirkungsweise dieser Instrumente zu geben und nehmen dazu die Einrichtung desselben etwas einfacher an, als sie in Wirklichkeit ist.[56]

Der Theil eines zusammengesetzten Mikroskopes oder eines Fernrohrs, welcher dem betrachteten Gegenstande zugewendet ist, heißt das **Objectiv**, der Theil, welcher dem Auge zunächst liegt, das **Ocular**.

Das **Mikroskop** Fig. 283 steht auf einem Fuße f, auf dem sich die viereckige Säule s erhebt, welche die wagerechte, in

---

[55] Die Vergrößerung, welche eine Lupe giebt, kann man aus ihrer Brennweite finden. Man addirt die Brennweite zur Sehweite und dividirt die Summe durch die Sehweite. Eine Lupe von 10cm Brennweite giebt eine Vergrößerung von $\frac{25+10}{10} = 3{,}5$, eine Lupe von 6cm Brennweite eine Vergrößerung von $\frac{25+6}{6} = 5{,}166$.

[56] Bei der Brechung des Lichtes durch Linsen findet ebensogut eine Farbenzerstreuung statt, wie bei der Brechung durch Prismen, nur ist sie nicht so auffällig, weil die gewöhnlich gebrauchten Linsen das Licht überhaupt nicht so stark ablenken, wie die gewöhnlich gebrauchten Prismen. Sie bewirkt aber doch, daß die Bilder von gewöhnlichen Linsen farbige Ränder zeigen und deshalb nicht ordentlich scharf erscheinen. Es lassen sich nun aus Glassorten, welche eine verschieden starke Farbenzerstreuung haben, zusammengesetzte Linsen herstellen, welche im Ganzen wie einfache Linsen wirken, aber Bilder

der Mitte durchbohrte Platte t, den sogenannten Mikroskoptisch trägt. Die zu betrachtenden Körper bringt man auf kleinen Glasplatten (Objectträgern) o über die Oeffnung des Tisches und beleuchtet sie von unten, indem man das Tageslicht oder auch das Licht einer Lampe mittelst des beweglichen Beleuchtungsspiegels b durch die Tischöffnung reflectirt. (Diese Art der Beleuchtung ist natürlich nur für durchscheinende Gegenstände verwendbar; undurchsichtige Körper muß man schräg von oben beleuchten, indem man eine Sammellinse in solcher Stellung anbringt, daß ihr Brennpunkt ohngefähr auf den zu beleuchtenden Körper fällt.) Der Mikroskopkörper k k ist ein Messingrohr, das am unteren Ende als Objectiv eine kleine Convexlinse von sehr kurzer Brennweite (meist nur einige Millimeter), oben als Ocular eine größere Convexlinse von etwas größerer Brennweite (einige Centimeter) trägt. Da man bald dickere, bald weniger dicke Körper unter das Mikroskop bringt und das Objectiv immer in einem bestimmten Abstand von der Oberfläche des Gegenstandes stehen muß, so muß der Mikroskopkörper beweglich sein. Zu diesem Zwecke läßt er sich aus freier Hand in der Hülse h h verschieben, um ihm zunächst ohngefähr die richtige Stellung zu geben; die genaue Einstellung erfolgt durch Drehen an dem Knopf m. Eine Drehung dieses Knopfes nach links oder nach rechts bewirkt nämlich eine ganz geringe Hebung oder Senkung des Messingcylinders r, welcher mittelst des Armes a die Hülse h h trägt.

Fig. 284.

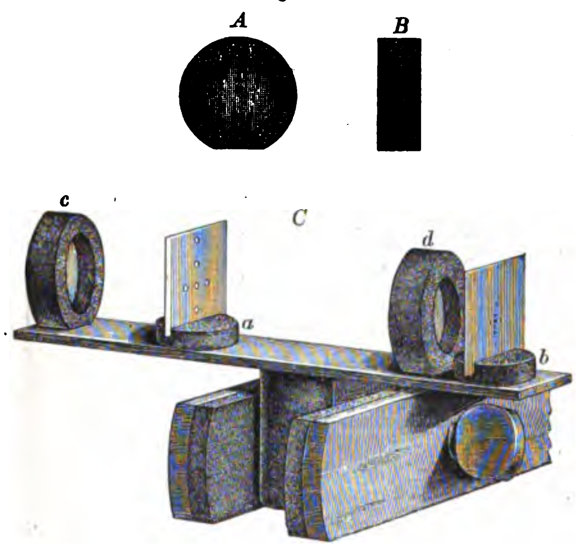
Die Wirkungsweise des Mikroskops erläutert Fig. 284. Der Pfeil a b soll den zu betrachtenden Gegenstand vorstellen, c ist die Objectivlinse, f der eine Brennpunkt derselben, der andere liegt in der Nähe des Pfeiles a b. Die Linse c entwirft von dem um weniger als die doppelte Brennweite entfernten Gegenstande ein stark vergrößertes, reelles Bild a_1 b_1, dessen Lage ganz wie in Fig. 272 gefunden wird, indem man von jedem Endpunkte des Gegenstandes zwei Strahlen verfolgt, einen parallel zur Axe, einen durch den Linsenmittelpunkt gehend. Dieses Bild betrachtet man durch die Ocularlinse d e, deren Brennpunkt f_2 ist. Von a_1 b_1 fallen auf die Linse d e Lichtstrahlen ganz so, als ob a_1 b_1 selbst ein leuchtender Körper wäre; es wird also die Linse wieder ein Bild von a_1 b_1 erzeugen und zwar ein virtuelles, vergrößertes, weil a_1 b_1 um

mit scharfen, nicht gefärbten Rändern liefern; solche Linsen heißen achromatisch. Zu Mikroskopen und Fernrohren, die ihrem Zwecke ordentlich entsprechen sollen, muß man immer achromatische Gläser verwenden. In unserer Betrachtung der optischen Instrumente ist nicht nur von achromatischen Linsen abgesehen, es sind auch noch anderweit einzelne Linsen angenommen, wo man in Wirklichkeit Linsensysteme, d. i. Zusammenstellungen mehrerer Linsen, anwendet; diese Linsensysteme geben ähnliche, aber genauere Bilder, als die von uns angenommenen, einfachen Linsen.

weniger, als die Brennweite von d e entfernt ist; dieses virtuelle Bild a_2 b_2, welches ein bei o befindliches, senkrecht von oben in das Mikroskop sehendes Auge erblickt, wird ganz in derselben Weise gefunden, wie das virtuelle Bild in Fig. 273. Beide Bilder, a_1 b_1 und a_2 b_2, sind in Bezug auf den Gegenstand verkehrt, das Mikroskop zeigt also die betrachteten Gegenstände in verkehrter Lage. Das Ocular des Mikroskopes wirkt ganz so, wie eine gewöhnliche Lupe.

Ein brauchbares Mikroskop herzustellen ist nur einem geschickten Mechaniker möglich, die Herstellung und richtige Fassung guter Linsen ist eine mühsame Arbeit und darum ist ein gutes Mikroskop ziemlich kostspielig; man wird ein solches nur anschaffen, wenn man es zu wirklichen Untersuchungen gebraucht.[57]

Fig. 285.



A, B ½ nat. Gr. C a. P. ⅓ nat. Gr.

Um blos die Wirkungsweise des Mikroskopes anschaulich zu machen, genügen zwei Linsen von 3 und 5^{cm} Brennweite. Von einem etwa 3^{cm} dicken Kork schneidet man zwei 1^{cm} starke, runde Scheiben ab, durchbohrt dieselben in der Mitte und erweitert die Löcher mit dem Rattenschwanz soviel, als nöthig, um die Linsen mit geringer Kraft hineindrücken zu können. An einer Seite feilt man vom Rande des Korkes etwas weg, so daß eine kleine ebene Fläche entsteht und setzt dann die Linsen in die Korke ein, wobei man darauf achtet, daß dieselben nicht schief, sondern recht schön gerade zu stehen kommen; Fig. 285 A zeigt den Kork mit der größeren Linse von vorn, B im Querschnitt. Auf ein 15^{cm} langes, 3^{cm} breites Brettchen leimt man den Kork mit der Linse von 5^{cm} Brennweite — dem Ocular — an's Ende, den anderen — mit dem Objectiv — so auf, daß der Abstand der Linsen von einander 11^{cm} beträgt; ein dritter Kork (ein gewöhnlicher Flaschenstöpsel wird an die untere Seite des Brettchens geleimt, um mittelst desselben das Ganze in einem Retortenhalter befestigen zu können, Fig. 285 C. Zwei weitere Korkscheiben a und b versieht man auf einer breiten Seite mit einem Schnitt, um ein Stückchen steifes Schreibpapier und ein Stückchen dünnes Messingblech hineinzuklemmen. Das Papier wird mit etwas Oel getränkt, um es durchscheinend zu machen, in das Blech macht

[57] Billige, fabrikmäßig hergestellte Mikroskope, die man häufig angekündigt findet, sind zum wirklichen Gebrauch zu schlecht und zu theuer, um bloß zu zeigen, daß ein Mikroskop vergrößert. Wenn man ein Mikroskop nicht (zu botanischen, physiologischen oder ähnlichen Zwecken) wirklich braucht und nicht wenigstens 20 Thaler dafür aufwenden kann, so unterlasse man die Anschaffung ganz. Recht preiswürdige Mikroskope (von 20 bis 80 Thaler) liefert Herr Mechaniker Neumann in Freiberg. Eine Anleitung zum Gebrauch des Mikroskopes gehört nicht in ein Lehrbuch der Physik; wer mit einem Mikroskop arbeitet, wird sie in anderen Werken zu finden wissen.

man sechs kleine Löcher so, daß sie ein Kreuz ⁛ bilden. Zu diesem Behufe legt man das Blech auf ein Stückchen Blei, setzt an den gehörigen Stellen den Körner auf und giebt auf diesen jedesmal nur einen ganz leisen Hammerschlag, um das Blech nicht zu durchbohren, sondern nur ein wenig einzudrücken. Dann feilt man von der andern Seite des Blechs die gebildeten kleinen Erhöhungen fast weg, sodaß in der Mitte jeder Körnervertiefung das Blech ganz dünn wird und sticht dann mit einer mäßigstarken Nähnadel vollends durch. Das Blech wird so tief in den Schlitz des Korkes hineingeschoben, daß die Mitte des Kreuzes genau in gleiche Höhe mit der Mitte der Linsen kommt, wenn man den Kork, wie die Figur zeigt, auf das Brettchen setzt. Ehe man das Blech an seine Stelle bringt, stellt man das geölte Papier mit dem Kork a so auf, daß es etwa 4^{cm} von der Linse c absteht, blickt dann durch diese Linse und verschiebt das Papier so lange, bis man es scharf und deutlich erkennt. Dann stellt man eine Lampe möglichst nahe am Ende des Brettchens auf und richtet dieses so, daß die Flamme mit den beiden Linsen in eine gerade Richtung kommt. Schließlich bringt man den Kork b mit dem Blech an seine Stelle und verschiebt ihn, bis auf dem geölten Papier ein scharfes, verkehrtes Bild der sechs Löcher erscheint, das Blech muß dazu etwa $17^{mm},5$ von der Linse d entfernt sein. Bei den angenommenen Abständen und Brennweiten ist das Bild des Kreuzes auf dem Papier etwa vier mal vergrößert, blickt man durch die Linse c, so erscheint dasselbe noch etwa auf das Fünffache, im Ganzen also $4 \cdot 5 = 20$ mal vergrößert. Der Papierschirm hat nur den Zweck, nachzuweisen, daß wirklich das in Fig. 284 mit a_1 b_1 bezeichnete, reelle Bild zu Stande kommt; nimmt man ihn fort, so sieht man, durch das Ocular c Fig. 285 blickend, das vergrößerte Kreuz noch deutlicher, als mit dem Schirme. Das Bild a_2 b_2 (Fig. 284) kann als virtuelles Bild natürlich nicht auf einem Schirme aufgefangen werden.

Man stellt den Versuch im dunklen Zimmer an, um das reelle Bild auf dem Papier deutlich zu sehen. Bei wirklichen Mikroskopen werden die Linsen in ein innen geschwärztes Rohr gefaßt, um nur das von dem betrachteten Gegenstande kommende Licht in's Auge gelangen zu lassen; diese Umhüllung ist bei unserer Vorrichtung weggelassen, um das Bild auf dem Papier sichtbar zu machen. Entfernt man das Papier, so kann man auch solche Gegenstände erkennen, die nicht so viel Licht durchlassen, wie die Löcher in dem Blech, sondern die nur durchscheinend sind. Von einem Stückchen Leinwand oder Baumwollenzeug, das man an die Stelle des durchlöcherten Bleches bringt, erkennt man recht gut das Gewebe.

Eine zwanzigfache Vergrößerung, wie sie unsere Vorrichtung giebt, ist für ein Mikroskop sehr schwach; stärkere Vergrößerungen erhält man, wenn man Objectivlinsen von viel kleinerer Brennweite anwendet. Gute Mikroskope besitzen gewöhnlich eine Anzahl verschiedener Objective, die man nach Belieben anschrauben kann und mit denen man Vergrößerungen von 30 bis wenigstens 500, bei größeren Instrumenten selbst bis zu 1500 erhält.

Fernrohre giebt es hauptsächlich von dreierlei Einrichtung, astronomische, terrestrische und Galilei'sche oder holländische.

Das astronomische Fernrohr ähnelt in seiner Wirkungsweise dem Mikroskop insofern, als durch das Objectiv ein reelles, verkehrtes Bild des Gegenstandes erzeugt wird, das man durch das Ocular als Lupe betrachtet. Dieses Bild ist aber nicht, wie im Mikroskop, vergrößert, sondern verkleinert, weil der Gegenstand um viel mehr, als die doppelte Brennweite von der Linse entfernt ist. Damit das Bild nicht zu klein ausfällt, macht man die Brennweite des Objectivs so groß als möglich. Entfernte Gegenstände kann man nicht künstlich beleuchten; um von ihnen ein helles Bild zu geben, muß das Objectiv einen großen Durchmesser haben, damit es eine möglichst große Menge von Strahlen aufnehmen kann. (Die großen astronomischen Fernrohre der Sternwarten, gewöhnlich Refractoren genannt, haben Objective

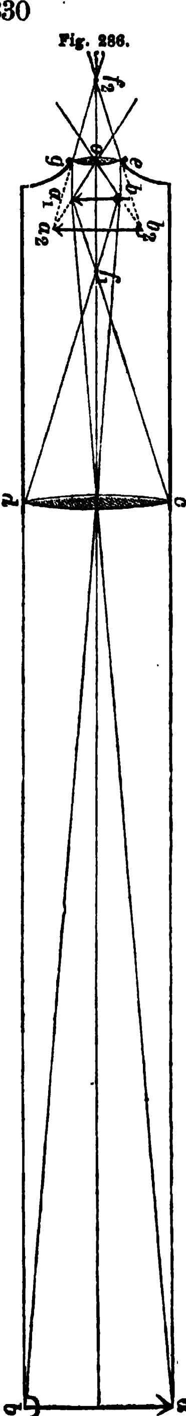
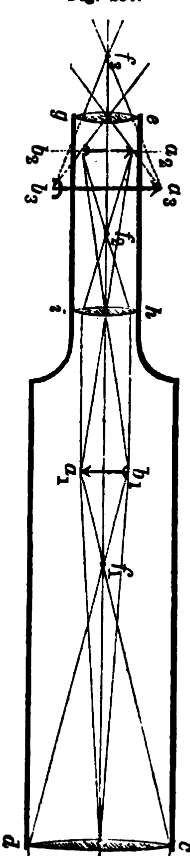


Fig. 286.

von 15 bis 30, ja 40^{cm} Durchmesser und 2 bis 7^{cm} Brennweite). Fig. 286 veranschaulicht die Wirkungsweise des astronomischen Fernrohrs; a b ist der betrachtete Gegenstand, a_1 b_1 das durch das Objectiv c d entworfene reelle Bild, a_2 b_2 das virtuelle Bild, welches ein durch das Ocular e g sehendes Auge erblickt; f_1 ist der Brennpunkt des Objectivs, f_2 der des Oculars. Der betrachtete Gegenstand ist in der Figur sehr nahe angenommen, um nicht das Fernrohr selbst zu klein darstellen zu müssen.

Aus der Figur erkennt man unmittelbar, daß das Bild a_2 b_2 nicht größer, sondern kleiner ist, als a b, trotzdem erscheint es dem in o befindlichen Auge viel größer, weil es viel näher ist. Das Bild a_1 b_1 wird um so größer, je weiter es von der Linse c d absteht, also je größer die Brennweite dieser Linse ist; die Linse e g wirkt um so mehr vergrößernd, je kleiner ihre Brennweite ist (vgl. S. 326); die Vergrößerung eines astronomischen Fernrohrs ist also um so stärker, je größer die Brennweite des Objectivs und je kleiner die des Oculars ist.

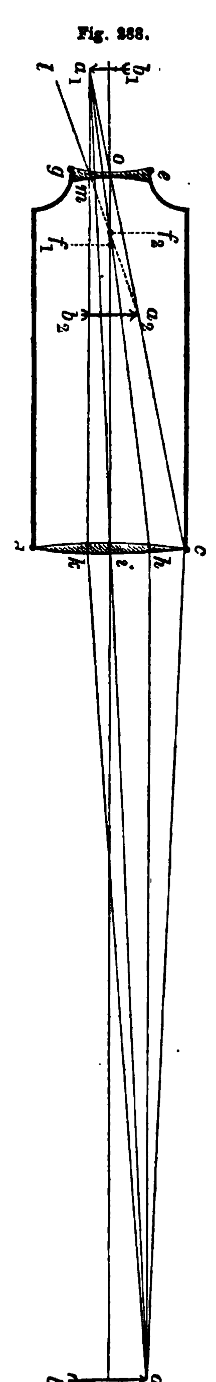

Fig. 287.

Bei astronomischen Instrumenten schadet die verkehrte Lage der Bilder nicht, dagegen ist sie sehr unbequem, wenn man entfernte Gegenstände auf der Erde — Gebäude, Bäume, Menschen — durch's Fernrohr betrachten will; für solche Zwecke wendet man terrestrische Fernrohre an, welche aufrechte Bilder geben. Das Objectiv des terrestrischen Fernrohrs c d Fig. 287 giebt, ganz wie das des astronomischen, ein verkehrtes, reelles Bild a_1 b_1 (der Gegenstand ist in Fig. 287 der Raumersparniß wegen weggelassen). Von diesem Bilde giebt die Linse h i — die sogenannte Umkehrungslinse — ein abermals verkehrtes, also wieder aufrechtes Bild a_2 b_2 und dieses wird endlich durch die als Lupe wirkende Ocularlinse e g betrachtet, welche davon das virtuelle Bild a_3 b_3 entwirft. Die Brennpunkte der Linsen c d, h i und e g sind f_1, f_2 und f_3.

Die Galilei'sche Einrichtung des Fernrohrs wendet man hauptsächlich bei den Theaterperspectiven (Operngucker) an. Das Objectiv

c d, Fig. 288, ist dem eines astronomischen oder terrestrischen Fernrohrs ähnlich; es würde von dem Gegenstande a b ein reelles Bild a_1 b_1 geben, wenn das Ocular e g nicht vorhanden wäre. Um die Figur nicht zu verwickelt zu machen, sind nur von a aus Lichtstrahlen gezeichnet und zwar wie gewöhnlich zwei, von denen einer, a h f_1 a_1 parallel zur Axe und durch den Brennpunkt der Linse, der andere a i a_1 durch den Linsenmittelpunkt geht, außerdem aber noch zwei andere, a c a_1 und a k a_1. Es ist leicht einzusehen, daß das Bild b_1 des Punktes b in ganz ähnlicher Weise zu finden wäre durch zwei von b ausgehende Strahlen. Das Bild a_1 b_1 kommt aber gar nicht zu Stande, weil die Strahlen, welche es erzeugen würden, durch das concave Ocular e g von kleiner Zerstreuungsweite eine Aenderung ihrer Richtung erleiden. Anstatt des reellen Bildes a_1 b_1 entsteht durch die Wirkung des Oculars das aufrechte virtuelle Bild a_2 b_2, welches dem bei o befindlichen Auge viel größer erscheint, als der Gegenstand a b. Um die Entstehung des Bildes a_2 b_2 zu begreifen, müssen wir uns zunächst vergegenwärtigen, daß von a aus auf das ganze Objectiv c d Strahlen fallen, die sämmtlich so gebrochen werden, daß sie nach dem Punkte a_1 hinlaufen. Unter diesen Strahlen wird sich nun jedenfalls auch einer befinden, welcher die Mitte des Oculars e g trifft und also mit unveränderter Richtung hindurchgeht — in unserer Figur ist das der Strahl c a_2 a_1. Ebenso wird unter diesen Strahlen einer sein, welcher parallel zur Axe auf das Ocular trifft — in der Figur der Strahl k m. Nun wissen wir, daß eine Concavlinse parallel zur Axe auffallende Strahlen so bricht, daß sie sich bewegen, als ob sie aus dem Zerstreuungspunkte kämen; der Strahl k m wird also nicht in der Richtung nach a_1, sondern nach l weitergehen, als ob er aus f_2, dem Zerstreuungspunkte des Oculars e g, käme. Die beiden Strahlen c a_1 und k m, welche sich, wenn das Ocular nicht da wäre, zu dem Bilde a_1 vereinigen würden, gehen infolge der Brechung durch das Ocular auseinander in der Richtung nach a_1 und l; sie werden also auf ein bei o befindliches Auge den Eindruck machen, als kämen sie beide von a_2 her, d. h. das Auge erblickt in a_2 ein virtuelles Bild von a. Auch die Strahlen h a_1 und i a_1 erleiden natürlich durch das Ocular eine Veränderung ihrer Richtung; auch sie werden so gebrochen, daß sie aus a_2 herzukommen scheinen; in der Figur ist die Richtung, welche diese Strahlen nach dem Durchgang durch das Ocular haben, nicht angegeben, um die Deutlichkeit der Figur nicht zu stören.

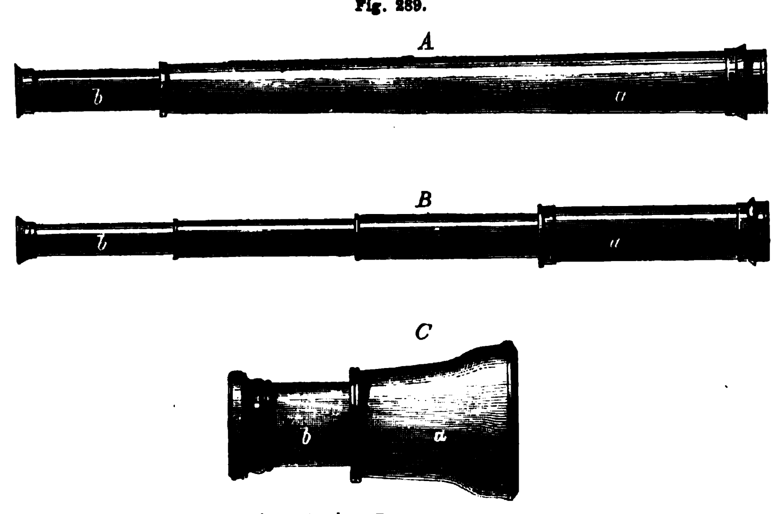
Fig. 288.



Die Gläser eines Fernrohrs sind immer gefaßt in innen geschwärzte Röhren, welche dienen, den Gläsern

ihre gegenseitige Lage zu sichern und alles von anderen, als den betrachteten Gegenständen kommende Licht abzuhalten. In den Figuren 286 bis 288 sind die Wandungen der Röhren nur ohngefähr angedeutet durch starke schwarze Striche; ihre wirkliche Gestalt ist etwas anders, als sie in diesen Figuren erscheint. Da das reelle Bild, welches die convexe Objectivlinse von einem Gegenstande entwirft, um so weiter von der Linse entfernt ist, je näher ihr der Gegenstand ist und da das Ocular immer eine genau bestimmte Lage gegen dieses reelle Bild haben muß (es mag wirklich zu Stande kommen, wie beim astronomischen und terrestrischen Fernrohr, oder nicht, wie beim Galilei'schen), so muß man jedes Fernrohr verlängern, wenn man nahe, verkürzen, wenn man entfernte Gegenstände deutlich erkennen will. Es ist deshalb das Ocular in ein kurzes, engeres Rohr gefaßt, welches sich in dem weiteren Rohre, welches das Objectiv trägt, mit sanfter Reibung verschieben läßt. Fig. 289 zeigt die äußere Ansicht von drei verschiedenen Fernrohrformen; A ist ein kleines astronomisches Fernrohr, B ein terrestri-

Fig. 289.



A, B 1/6 nat. Gr., C 1/2 nat. Gr.

sches (Reiseperspectiv), C ein Galilei'sches Fernrohr. Bei allen ist das Objectivrohr mit a, das Ocularrohr mit b bezeichnet. Das Rohr des terrestrischen Fernrohrs ist meist aus 4 (oder 5) einzelnen ineinanderpassenden Stücken zusammengesetzt, um es behufs bequemeren Transports zusammenschieben zu können.

Ein Fernrohr kann man sich ebensowenig selbst machen, wie ein Mikroskop.[58] Für uns kann es sich, wie beim Mikroskop, nur darum handeln,

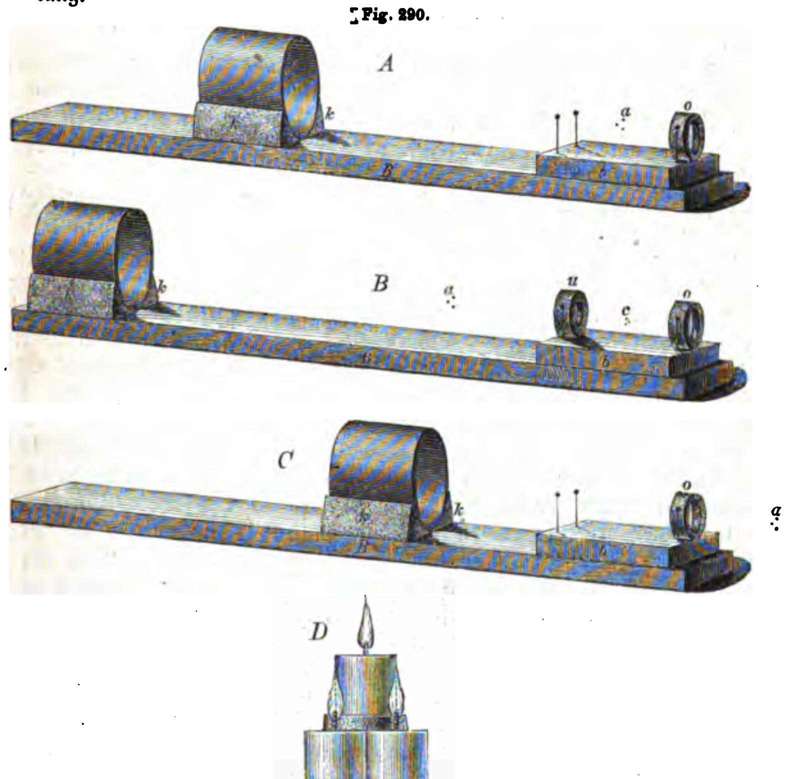
---

[58] Mittelmäßige und schlechte Fernrohre werden zu sehr billigen Preisen fabrikmäßig hergestellt und sind in jeder größeren Stadt zu haben. Da die Beurtheilung der Güte eines Fernrohrs nicht ganz leicht ist, so kaufe man nur da, wo man sicher ist, solid bedient zu werden. Fernrohre, die etwas theurer, als die gewöhnliche Handelswaare, in Anbetracht ihrer Vorzüglichkeit aber sehr billig sind, liefert die optisch-astronomische Werkstätte der Herren C. A. Steinheil's Söhne, München. Es kostet beispielsweise ein terrestrisches Fernrohr von 30,^{mm}3 (9 par. Lin.) Objectivdurchmesser und 14facher Ver-

einige Linsen so zusammenzustellen, daß sie die Wirkungsweise des Fernrohrs ohngefähr nachahmen. Außer den schon benutzten Convexlinsen von 28, 5 und 3^{cm} Brennweite braucht man dazu noch eine Concavlinse von 2^{cm} Durchmesser und 5^{cm} Zerstreuungsweite.

Die drei kleinen Linsen versieht man mit Korkfassungen von 3^{cm} Durchmesser, wie für's Mikroskop, die größere Linse faßt man in ein 6 bis 10^{cm} langes Papprohr mittelst zweier Pappringe so, wie es bei der Camera obscura angegeben ist. An die untere Seite dieses Rohres leimt man rechts und links passend geschnittene und gefeilte Korkstücke, um ihm eine sichere Lage zu geben; die Form dieser Korkstücke k k ist aus Fig. 290 genügend zu erkennen. Ferner läßt man sich vom Tischler zwei Brettchen von 6^{cm} Breite und $1^{cm},5$ Dicke machen, das eine 10^{cm}, das andere 50^{cm} lang.

Fig. 290.



A, B, C a. P. 1/5 nat. Gr.; D 1/3 nat. Gr.

Auf einen langen Tisch oder auf zwei verschiedene Tische bringt man (wenn man den Versuch bei Tage anstellt nach Verdunkelung des Zimmers durch Niederlassen der Rouleaux oder Vorhänge) in 3^{m} Entfernung von einander einerseits drei kleine Kerzenstümpfchen, von denen man eines auf einen 3^{cm} hohen Kork hinter die beiden anderen stellt, so daß sie die Fig. 290 D angegebene Figur bilden, andererseits das Brettchen B, Fig. 290 A, B, C,

größerung 12 Fl. = 6 6/7 Thlr., eines von $27,^{mm}1$ (12 par. Lin.) Objectivdurchmesser und 21facher Vergrößerung 15 Fl. = 8 4/7 Thlr.; mit Etui 1 1/2, beziehentlich 2 Fl. mehr.

so daß es gerade nach den Kerzenstümpfchen gerichtet ist. Das Brettchen b trägt das Ocular; das Papprohr mit der Objectivlinse wird in passendem Abstande vom Ocular auf das Brettchen B gelegt. Die Ocularlinsenfassungen werden auf dem Brettchen b nicht festgeleimt, sondern eingeklemmt zwischen Stecknadeln, die man an beiden Enden des Brettchens b einsticht. Indem man durch das Ocular blickt, verschiebt man das Brettchen b solange, bis man die Kerzen deutlich vergrößert erblickt; dabei hat man darauf zu achten, daß die Kanten von b und B glatt aneinanderliegen, damit die Axen der verwendeten Linsen immer in eine gerade Linie fallen.

Zum astronomischen Fernrohr A, Fig. 290 benutzt man als Ocular o die Convexlinse von 5cm Brennweite; die das Objectiv tragende Papröhre legt man so, daß die Linse etwa 15cm vom Ende des Brettchens B entfernt ist.

Beim terristrischen Fernrohr B dient dieselbe Linse von 5cm Brennweite als Ocularlupe o, als Umkehrungslinse u die Convexlinse von 3cm Brennweite; die Korkfassungen beider Linsen kommen an die Enden von b, so daß der Abstand der Linsen selbst 9cm beträgt; die Objectivlinse kommt ziemlich an's Ende von B.

Beim Galilei'schen Fernrohr C dient als Ocular die Concavlinse von 5cm Zerstreuungsweite; das Objectiv kommt etwa in die Mitte von B.

Das verkehrte, reelle Bild, welches das Objectiv des astronomischen Fernrohrs entwirft, liegt bei a, Fig. A. Die drei kleinen Bilder der Kerzenflammen sind wegen der Kleinheit der Figur nur durch drei Punkte angedeutet. Das Vorhandensein des Bildes an dieser Stelle läßt sich nachweisen, wenn man wie beim Mikroskop ein in ein Korkscheibchen geklemmtes Stückchen durchscheinendes Papier dort aufstellt; man sieht dann von der Seite die wirkliche Größe dieses Bildchens, das man durch o vergrößert erblickt. Während man bei der Nachahmung des Mikroskopes erst den Papierschirm in die richtige Entfernung vom Ocular brachte und dann den betrachteten Gegenstand so lange verrückte, bis von ihm ein deutliches Bild erschien, richtet man hier erst die Linsen so, daß man durch dieselben die Kerzen deutlich erkennt, bringt dann das Papier dazwischen und verschiebt es, bis darauf das reelle Bild scharf erscheint. Daß das Bild des Fernrohrs größer erscheint, als die unmittelbar gesehenen Kerzenflammen, erkennt man leicht, wenn man mit dem rechten Auge durch das Ocular o, mit dem linken Auge neben der Vorrichtung vorbei unmittelbar nach den Flammen sieht.

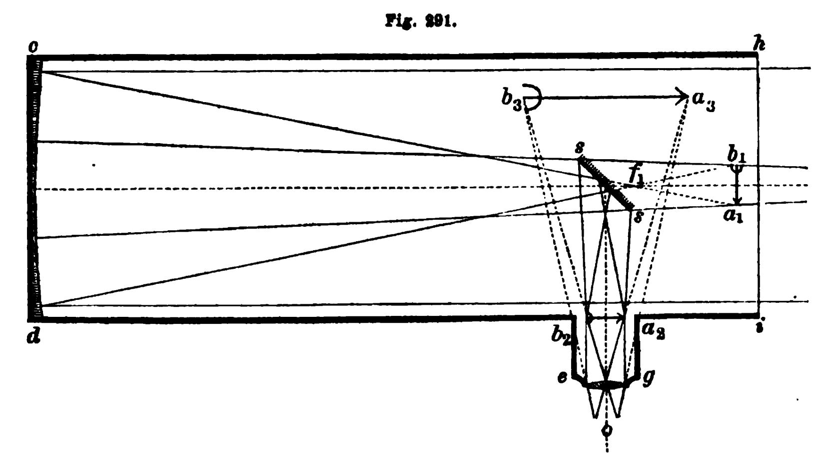
Beim terrestrischen Fernrohr, Fig. B, ist a wieder der Ort des von dem Objectiv erzeugten reellen Bildes, das zweite reelle Bild, welches die Linse u von dem ersten Bilde entwirft, liegt bei c. (Bei der hier angenommenen Entfernung der einzelnen Linsen voneinander ist das zweite Bildchen halb so groß, als das erste.) Einen Papierschirm zum Auffangen der Bilder kann man erst nach a und dann nach c bringen; stellt man den Versuch bei Abend in einem Zimmer an, in dem außer den drei Kerzenstümpfchen keine anderen Lichter brennen, und wendet recht zartes Papier (Pauspapier) an, so kann man zwei Schirme aufstellen und beide Bilder zugleich sichtbar machen; man bringt dann zuerst den Schirm für a an die richtige Stelle und hierauf den für c.

Davon, daß beim Galilei'schen Fernrohr gar kein reelles Bild zu Stande kommt, überzeugt man sich, indem man ein Papier langsam von dem Papprohr bis an das Ocular o bewegt, es dann auf die andere Seite

von o bringt und langsam davon entfernt; immer zeigt sich auf dem Papier nur ein verwaschener, heller Fleck. Das in Fig. 290 C mit a bezeichnete Bild ist das, welches entstehen würde, wenn das Ocular nicht da wäre, es läßt sich natürlich nur nach dem Wegnehmen des Oculars auf einem Papierschirm auffangen.

Für sehr große Fernrohre wendet man anstatt einer Objectivlinse zuweilen auch einen Concavspiegel an; derartige Fernrohre heißen dann Reflectoren oder Spiegelteleskope. Es sind solche in ziemlich verschiedener Weise construirt worden; Fig. 291 erläutert die Einrichtung des Newton'schen Spiegelteleskops. Das Ende h i des Rohres, welches dem betrachteten Gegenstande zugewendet ist, ist vollständig offen; am anderen, verschlossenen Ende des Rohres sitzt der Concavspiegel c d. Dieser würde von einem Gegenstande, der sich in einiger Entfernung befindet, ein verkehrtes, verkleinertes Bild a_1 b_1 geben, wenn der kleine, ebene Spiegel s s nicht vorhanden wäre, welcher die vom großen Spiegel kommenden Lichtstrahlen so nach der Seite reflectirt, daß das Bild bei a_2 b_2, nahe an der

Fig. 291.

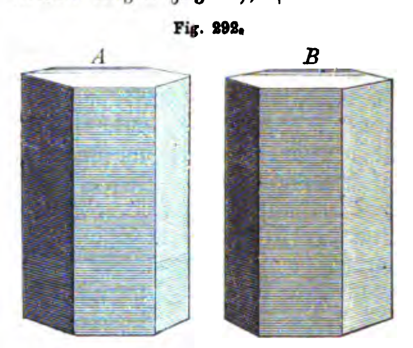


Seitenwand des Fernrohrs entsteht. Die Wand hat an dieser Stelle eine Oeffnung, in welche rechtwinkelig gegen das Hauptrohr ein kurzes, kleines Rohr eingesetzt ist, das die Ocularlinse e g trägt. Diese Linse erzeugt von dem Bilde a_2 b_2 für das von o her in das Fernrohr blickende Auge in ganz ähnlicher Weise ein vergrößertes, virtuelles Bild a_3 b_3, wie das Ocular des gewöhnlichen, astronomischen Fernrohrs.

43. Sehen mit zwei Augen, Stereoskop; Dauer des Lichteindrucks; Farbenscheibe, Complementär- und Contrastfarben, Stroboskopische Scheibe, Lebensrad; optische Täuschungen. Ein und derselbe Körper bietet uns ein verschiedenes Bild, wenn wir ihn von verschiedenen Standpunkten aus betrachten. Von einer sechsseitigen Säule würde ein etwas links stehender Beobachter die in Fig. 292 bei A, ein etwas rechts befindlicher die bei B gezeichnete Ansicht haben; der erste würde die linke Fläche breiter sehen, als die rechte, für den zweiten würde das Umgekehrte der Fall sein. Ein derartiger Unterschied findet auch statt für die beiden Augen einer und derselben Person, weil die Augen einige Centimeter von einander entfernt sind. Hält man einen sechs-

eckigen Bleistift in einer Entfernung von 20 bis 25^{cm} in senkrechter Stellung gerade vor das Gesicht und schließt oder bedeckt mit der Hand abwechselnd das rechte und das linke Auge, so bemerkt man ganz ähnliche Unterschiede, wie die der Bilder A und B Fig. 292. Sieht man mit beiden Augen zugleich, so wird man sich nicht bewußt, daß man zwei verschiedene Bilder sieht; die beiden Bilder vereinigen sich in unserem Bewußtsein zu der Vorstellung des Körpers. Solange man nur mit einem Auge sieht, erkennt man, wie auf einem Bilde, eigentlich nur die Höhe und Breite der Gegenstände; der Tiefe, des Hintereinanderseins verschiedener Gegenstände werden wir uns unmittelbar nur durch das Sehen mit zwei Augen bewußt. Allerdings sind wir durch vielfache Uebung in den Stand gesetzt, die Tiefe des vor uns befindlichen Raumes, die verschiedene Entfernung der Gegenstände auch beim Sehen mit einem Auge zu schätzen, aber viel weniger sicher und immer nur mit Hülfe einer, wenn auch unbewußten Ueberlegung.

Fig. 292.



Wie wenig man im Stande ist, beim Sehen mit einem Auge Entfernungen zu schätzen, läßt sich auf folgende Weise zeigen. Ein 20^{cm} langer Draht von 2 bis 3^{mm} Dicke wird an einem Ende zu einem Ringe von ohngefähr 4^{cm} Durchmesser gebogen; das andere Ende feilt man spitz und steckt es von oben auf den Stab eines Retortenhalters, von dem man den Arm ganz entfernt oder wenigstens möglichst weit niedergeschoben hat. Den Halter mit dem Ring stellt man auf einen frei im Zimmer stehenden Tisch, nimmt dann die Spitze eines mit einem Hakengriff versehenen Spazierstockes in eine Hand, bedeckt mit der anderen Hand ein Auge, nähert sich nun aus einer Entfernung von einigen Metern dem Halter und versucht den Haken des mit halb ausgestrecktem Arm gehaltenen Stockes in den Ring einzuhaken; man wird in den meisten Fällen das erste Mal den Ring nicht erreichen oder über ihn hinausfahren, während man, wenn man mit beiden Augen sieht, ohne alle Mühe gleich das erste Mal den Ring richtig trifft.

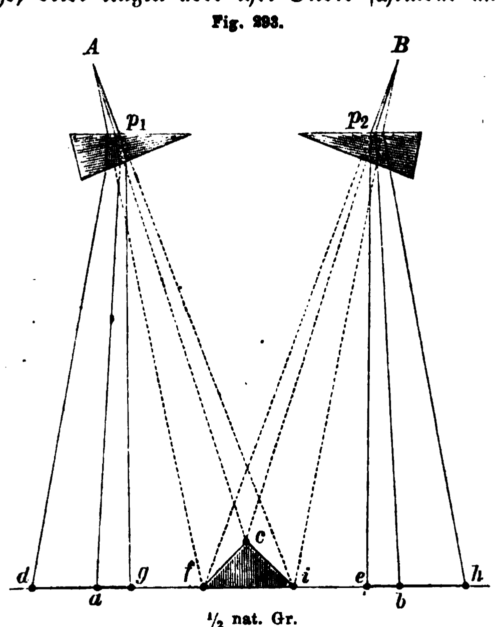
Es ist zweckmäßig, den Halter so aufzustellen, daß sich der Drahtring wenig tiefer befindet, als der Kopf dessen, der den Versuch macht. Noch schwieriger ist es, den Ring beim Sehen mit einem Auge zu treffen, wenn er an einem feinen Faden von der Decke des Zimmers herabhängt; ein so aufgehängter Ring dreht sich aber lange Zeit hin und her; er muß geraume Zeit hängen, ehe er ruhig wird.

Ein vollkommen richtig gezeichnetes Bild eines Körpers wird (wenigstens was die Form anlangt) auf ein einzelnes Auge ganz denselben Eindruck machen, wie der Körper selbst, da wir mit einem Auge die verschiedene Entfernung der Theile eines Körpers ebenso wenig unmittelbar sehen können, wie sie sich im Bilde unmittelbar darstellen läßt. Soll ein gemaltes Bild eine möglichst vollkommene Täuschung hervorrufen, d. h. soll es in uns möglichst lebhaft die Vorstellung der Dinge hervorrufen, welche es darstellt, so muß man deshalb dasselbe mit nur einem Auge betrachten; öffnet man beide Augen, so giebt das gemalte Bild in beiden Augen die nämliche Ansicht und dadurch wird sofort der Unterschied deutlich zwischen dem Bilde und den wirklichen Gegenständen, die für beide Augen verschiedene Ansichten bieten. Hat man ein gutes Bild, am besten ein in kleinem

Maßstabe gemaltes Bild eines Säulenganges, einer Kirche oder dergl. mit einem Auge betrachtet (indem man das zweite Auge schließt oder mit der Hand bedeckt) und bei längerem Hinsehen eine recht deutliche Vorstellung von der Tiefe des dargestellten Raumes erhalten, so verschwindet die Täuschung fast ganz, wenn man das zweite Auge öffnet; es macht förmlich den Eindruck, als ob die vortretenden Theile des Bildes zurücksänken, die zurücktretenden vorkämen und der scheinbar in die Tiefe sich erstreckende Raum sich wieder zu der ebenen Fläche des Bildes abflachte.

Den besten Beweis dafür, daß das Körperlichsehen der Dinge seinen Grund darin hat, daß die beiden Augen zwei etwas verschiedene Bilder erblicken, liefert das **Stereoskop**, welches zwei von etwas verschiedenen Standpunkten aus aufgenommene Bilder den beiden Augen so darbietet, daß jedes Auge nur eines der Bilder sieht, beide Augen aber ihre Bilder scheinbar an der nämlichen Stelle erblicken: sind die beiden Bilder des Stereoskops richtig, so erhält man durch dasselbe die vollkommenste Täuschung; man glaubt in der That körperliche Dinge vor sich zu haben. In Fig. 293 sei bei A das linke, bei B das rechte Auge, a das für das linke, b das für das rechte Auge bestimmte Bild; p_1 und p_2 seien zwei Glasprismen, durch deren jedes man mit einem Auge sieht. Wir wissen von früher, daß ein Prisma die durchgehenden Lichtstrahlen so bricht, daß sie von der brechenden Kante weggelenkt werden, ein hindurchgesehener Gegenstand aber nach der brechenden Kante zu gerückt erscheint; das Prisma p_1 bricht den von a kommenden Strahl a p_1 so, daß er fortgeht in der Richtung p_1 A, also so, als ob er aus c käme; das Prisma p_2 bricht den Lichtstrahl b p_2 so, daß er dem Auge B ebenfalls aus c zu kommen scheint; man glaubt in der That einen bei c befindlichen Körper zu sehen, wenn die Bilder a und b so gezeichnet sind, wie ein bei c befindlicher Körper den Augen A und B erscheinen würde, wenn die Prismen p_1 und p_2 nicht da wären. So, wie die Punkte a und b der beiden Bilder bei der Betrachtung durch die Prismen zu dem Punkte c vereinigt erscheinen, so geben die Punkte d und e zusammen den Punkt f, die Punkte g und h zusammen den Punkt i.

Fig. 293.

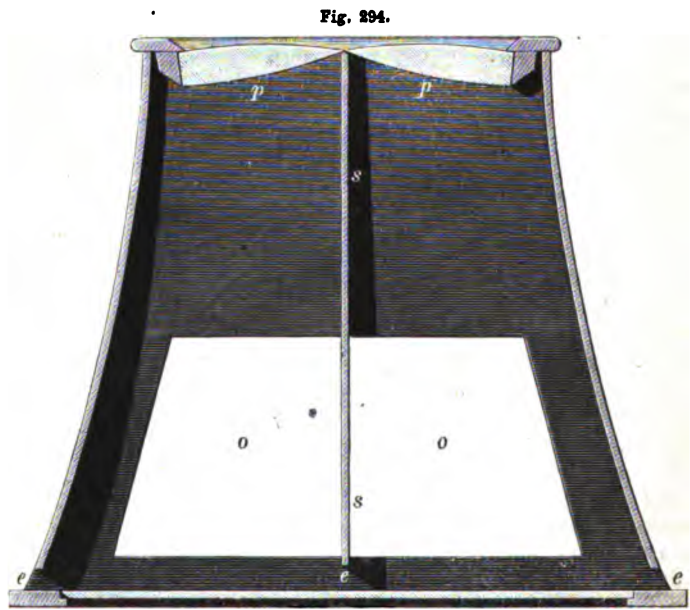


½ nat. Gr.

Die Stereoskope, welche man gegenwärtig vielfach antrifft, haben in Wirklichkeit nicht ebenflächige Prismen, sondern solche mit gewölbten Flächen, die nicht blos den Zweck haben, die Lichtstrahlen seitlich abzulenken, sondern die zugleich auch wie Convexlinsen eine Vergrößerung der Bilder bewirken,

welche man dadurch betrachtet. Diese Linsenprismen sind gewöhnlich angebracht am Deckel eines viereckigen, nach unten schräg erweiterten Kastens, auf dessen Boden die Bilder gelegt werden. Fig. 294 zeigt einen senkrechten Durchschnitt des Kastens; p p sind die Linsenprismen, s s ist eine Scheidewand, welche verhindert, daß man mit einem Auge etwas von dem für das andere bestimmten Bilde sieht. Durch die Oeffnung o o fällt das zur Beleuchtung der Bilder nöthige Licht ein; die Bilder, welche gewöhnlich auf einem Streifen Pappe nebeneinander aufgezogen sind, werden von der Seite her durch die schmalen Spalten e e e ein- und ausgeschoben.

Fig. 294.



1/2 nat. Gr.

Der Boden des Stereoskops ist gewöhnlich gebildet durch eine mattgeschliffene Glastafel, um dasselbe auch für Photographien auf Glas verwenden zu können, die nicht mit auffallendem, sondern mit durchscheinendem Lichte erleuchtet werden müssen. Für Glasphotographien hält man das Stereoskop so, daß die matte Glastafel senkrecht steht, man also wagrecht in das Instrument hineinsieht; die Glastafel muß dabei nach dem Fenster gewendet sein, um genügendes Licht zu erhalten; die Oeffnung o o wird durch eine Klappe geschlossen. Zum Gebrauch für undurchsichtige Bilder stellt man das Stereoskop mit seiner Bodenfläche auf den Tisch, die Oeffnung o o nach dem Fenster oder einer Lampe zugewendet und sieht senkrecht von oben in dasselbe hinein.

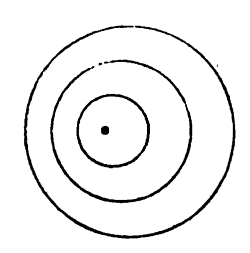
Nicht immer gelingt es gleich, die Bilder der beiden Augen zu einem einzigen Körperbild zu vereinigen; sobald aber das Zusammengehen der Bilder stattfindet, ist die dadurch hervorgerufene Täuschung eine höchst vollkommene und überraschende. Wollen die Bilder nicht gleich zusammengehen, so bewege man den Kopf ein wenig, so daß man die Augen dem Stereoskop nähert und davon entfernt. Da sowol die Sehweite, als auch der Augenabstand (etwa 7^{cm}) bei verschiedenen Personen verschieden ist, so sollten Stereoskopapparate so eingerichtet sein, daß sich sowol der Abstand der Linsenprismen von den Bildern, als auch ihr Abstand von einander verändern läßt; die gewöhnlichen Stereoskopen haben aber diese Einrichtung nicht und

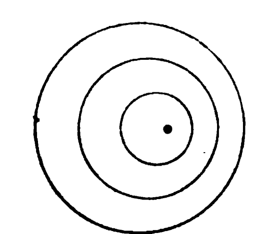
deshalb findet eine Person manchmal Schwierigkeiten bei der Anwendung eines Stereoskops, welches für eine andere Person ganz bequem und passend ist.

Recht zweckmäßig ist das sogenannte Lorgnonstereoskop, eine ganz einfache Fassung aus Holz oder Metall, welche nichts als die beiden Linsenprismen enthält und mit der Hand wie eine Lorgnette vor die Augen gehalten wird. Die zu betrachtenden Bilder legt man auf den Tisch; man hat nur darauf zu achten, daß man die Gläser hübsch senkrecht darüber bringt. Neben seiner Billigkeit und Kleinheit hat das Lorgnonstereoskop den Vortheil, daß man die Gläser in jeden beliebigen Abstand vom Bilde bringen und so der Sehweite der Augen anpassen kann.

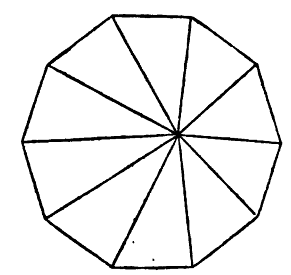
Fig. 295.

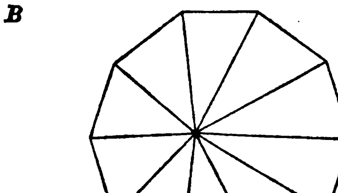
A





B





C

Diejenigen Theile, welche auf dem links liegenden Abdruck weiter nach rechts liegen, als auf dem rechts befindlichen, erscheinen beim stereoskopischen Sehen in grösserer Höhe.	Diejenigen Theile, welche auf dem links liegenden Abdruck weiter nach rechts liegen, als auf dem rechts befindlichen, erscheinen beim stereoskopischen Sehen in grösserer Höhe.

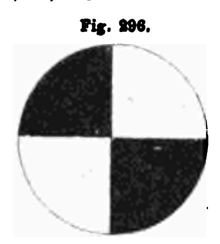
Wegen des Fehlens der Scheidewand sieht man beim Lorgnonstereoskop eigentlich drei Bilder; jedes Auge erblickt zwei Bilder und von diesen vier Bildern vereinigen sich die beiden mittleren zu dem körperlichen Bilde. Die beiden äußersten Bilder sind flach und verwaschen, sie stören fast gar nicht, sobald man nur die Aufmerksamkeit auf die richtige Wahrnehmung der Mittelbilder richtet.

Stereoskopenbilder (Ansichten von Gebäuden, Statuen, Felspartieen u. dergl.), die auf photographischem Wege hergestellt sind, erhält man jetzt in großer Auswahl und in vorzüglicher Schönheit zu verhältnißmäßig billigen Preisen. Mit Hülfe des Lorgnonstereoskops kann man auch die in Fig. 292 gezeichneten Ansichten einer sechsseitigen Säule zu einem körperlichen Bilde vereinigt sehen; ein paar einfache, ähnliche Stereoskopbilder giebt Fig. 295, an denen der Unterschied der beiden einzelnen

Bilder deutlich wahrnehmbar ist; A zeigt drei hintereinander befindliche Kreise, B die Kanten einer zehnseitigen Pyramide, C zwei ähnliche, aber nicht genau gleiche Druckproben. Zwei genau gleiche Abdrücke eines Schriftstücks oder einer Zeichnung erscheinen, wenn man sie nebeneinander legt und durch das Stereoskop betrachtet, ganz so, wie ein einzelner Abdruck bei der gewöhnlichen Betrachtung mit bloßen Augen; sind aber einzelne Theile auf dem einen Abdruck etwas mehr nach links, auf dem anderen etwas mehr nach rechts gerückt, so scheinen diese Theile in dem stereoskopischen Bilde höher oder tiefer zu stehen, als das Uebrige. Von Fig. 295 C erscheint unter dem Stereoskop die 2., 4. und 6. Zeile höher zu stehen, als die 1., 3. und 5. In ähnlicher Weise kann man echte mit unechten Cassenbillets und Aehnliches vergleichen; da auch bei der gelungensten Nachahmung einzelne Theilchen der Zeichnung oder Schrift eine etwas andere Stellung haben, als im Original, so werden sich diese unter dem Stereoskop dadurch verrathen, daß sie über oder unter der Fläche des Papiers, anstatt auf demselben zu stehen scheinen. Bei sorgfältiger, anhaltender Betrachtung von Fig. 295 C unter dem Stereoskop zeigen sich solche Unterschiede in der scheinbaren Höhe nicht nur an den ganzen Zeilen, denen absichtlich eine sehr verschiedene Höhe gegeben worden ist, sondern vielfach auch an den einzelnen Theilen derselben Zeile; es erscheinen z. B. die Worte „links" und „weiter" der zweiten Zeile nicht ganz so hoch, als die mittelsten Worte dieser Zeile und dergl. mehr.

Der Eindruck, den ein gesehener Körper im Auge hervorruft, hält noch eine kurze Zeit an, wenn der Körper aufhört sichtbar zu sein, wenn er sich z. B. von seiner Stelle bewegt oder wenn er plötzlich verdeckt wird. Eine solche Fortdauer des Lichteindrucks findet in allen Fällen statt; sie ist um so leichter wahrzunehmen, je heller der betrachtete Körper im Verhältniß zu seiner Umgebung ist. Am einfachsten kann man sie beobachten, wenn man im Dunkeln einen glimmenden Holzspahn mit der Hand im Kreise schwingt; man erblickt dabei einen glühenden Kreisbogen oder, wenn man die Bewegung recht schnell macht, sogar einen ganzen Kreis; man sieht in jedem Augenblick die glühende Kohle nicht nur an dem Orte, wo sie sich wirklich befindet, sondern auch noch an allen den Orten, wo sie kurz vorher gewesen ist; der glühende Bogen oder Kreis ist also die ineinanderfließende Reihe unendlich vieler einzelner Bilder der Kohle.

Fig. 296.



1/4 nat. Gr.

Befestigt man auf der Schwungmaschine eine Pappscheibe, Fig. 296, die zuerst mit weißem und dann zu zwei Vierteln mit schwarzem Papier beklebt ist und versetzt sie in hinreichend starke Drehung, so erblickt man eine ganz gleichmäßig graue Scheibe; man sieht so schnell hintereinander an allen Stellen der Scheibe das Weiß, ebenso aber auch das Schwarz, daß man überall gleichzeitig Weiß und Schwarz zu sehen glaubt; das Grau, welches man sieht, ist nichts, als ein Gemisch von Weiß und Schwarz.

Bringt man anstatt der schwarzweißen Scheibe die mit den sieben Hauptfarben des Spectrums versehene Scheibe Fig. III (auf der vor dem Titel des Buches befindlichen Tafel) auf die Schwungmaschine und versetzt sie in schnelle Drehung, so erscheint dieselbe ebenfalls grau. Da sich, wie wir in §. 41 gesehen haben, das weiße Licht in farbiges zerlegen läßt, so muß es sich auch aus solchem wieder zusammensetzen lassen. Es giebt Apparate, mittelst welcher man die verschiedenfarbigen Strahlen, in die das weiße Licht durch ein Prisma zerlegt worden ist, wieder vereinigt; man erhält mit solchen Apparaten in der That wieder ein vollkommenes Weiß. Daß die Farbenscheibe beim Drehen nicht weiß, sondern grau erscheint, hat einen doppelten

Grund. Einer von den vierzehn Kreisausschnitten unserer Scheibe ist beispielsweise roth; sollte dieser Streif weiß erscheinen, so müßte er außer dem rothen Lichte zugleich auch oranges, gelbes, grünes u. s. f. ausstrahlen, d. h. alles Licht, welches von sieben nebeneinanderliegenden Ausschnitten ausgeht, müßte von diesem einen Ausschnitt ausgehen. Beim Drehen der Scheibe werden nun zwar die verschiedenen Farbeneindrücke in unserem Auge vermischt und zu Weiß verschmolzen; da aber die vierzehn Ausschnitte zusammen nur soviel Licht ausstrahlen, wie von zweien derselben ausgehen müßte, um sie weiß erscheinen zu lassen, so kann die Scheibe bei weitem nicht so hell erscheinen, wie eine gleich stark beleuchtete, wirklich weiße Scheibe. Wird die gedrehte Farbenscheibe viel heller beleuchtet, als ihre Umgebung, so erscheint sie in der That ziemlich gut weiß.

Ein weiterer Grund für die Unvollkommenheit des Weiß der Farbenscheibe ist der, daß wir anstatt der reinen Farben des natürlichen Spectrum sieben künstliche Farben anwenden, die jenen nur ganz ohngefähr entsprechen. Künstlich gefärbtes Papier zeigt niemals auch nur annähernd die Schönheit der prismatischen Farben; es liegt das daran, daß unsere Farbstoffe niemals Licht von einer einzelnen Farbe zurückwerfen, sondern immer gemischtes Licht von ziemlich verschiedenen Farben. Dies gilt nicht nur von solchen Farben, die aus zweierlei Farbstoffen zusammengemischt sind (wie manche Arten Grün aus blauen und gelben Farbstoffen), sondern von allen Farbstoffen.

Um dem Leser die Mühe der Herstellung einer Farbenscheibe zu sparen, ist dem Buche ein besonderer Abdruck von Fig. III beigegeben, den man nur auszuschneiden und mit einem Loche zu versehen braucht. Die Farben dieser Scheibe sind beim Druck etwas zu röthlich ausgefallen und das Ganze erscheint deshalb beim Drehen röthlichgrau. Man erhält aber ein ziemlich weißliches Grau, wenn man von dem Roth etwas wegnimmt, indem man die am Violett anliegende Hälfte jedes rothen Theilchens zur Hälfte schwarz übermalt. Dazu nimmt man am bequemsten Ruß, der mit wenig Schellackfirniß (s. S. 352) angerührt ist; will man Tusche benutzen, so muß man sie sehr dick einrühren, sonst wird sie nicht von dem mit fettiger Farbe bedruckten Papier angenommen. Den schwarzen Rand schneide man nicht weg, sondern lasse ihn an der Scheibe, durch den Gegensatz zu dem Schwarz erscheint das Grau besser weiß, als ohne den Rand.

Will man die Farbenscheibe heller beleuchten, als ihre Umgebung, so befestige man die Schwungmaschine in aufrechter Stellung an einem Tische, der nahe an einer dem Fenster gegenüberliegenden Wand steht, klemme einen kleinen Spiegel in den Arm eines Retortenhalters, den man auf das Fensterbrett stellt und richte den Spiegel so, daß er die auf ihn fallenden Sonnenstrahlen auf die Farbenscheibe wirft; man wird gewöhnlich nur ein viereckiges Stück der Scheibe hell beleuchtet bekommen, was aber völlig genügt.

Daß die Farben auf der Scheibe keine einfachen, sondern zusammengesetzte sind, kann man erkennen, wenn man dieselben durch ein Prisma betrachtet. Dazu ist aber erforderlich, daß man eine einzelne solche Farbe in einer schwarzen Umgebung hat, sonst fallen die durch die Lichtbrechung im Prisma verschobenen und verzerrten Bilder umgebender Gegenstände zum Theil auf das Bild dieser Farbe und machen dasselbe undeutlich. Am leichtesten gelangt man folgendermaßen zum Ziele: In die Mitte eines Stückes dünner Pappe von der Größe eines Quartblattes schneidet man einen Schlitz von 25 bis 30^{mm} Länge und 3 bis 4^{mm} Breite, streicht das Pappstück (besonders auch die schmalen Schnittflächen, welche die Ränder des Spaltes

bilden) schwarz an mit Ruß und wenig Leim und legt nach dem Trocknen des Anstrichs die Farbenscheibe so unter das Pappstück, daß eine einzelne Farbe unter den Schlitz zu liegen kommt. Beide Stücke zusammen faßt man mit der linken Hand, hält sie mit gerade ausgestrecktem Arm aufrecht vor sich hin und betrachtet sie durch das Schwefelkohlenstoffprisma, das man mit der Rechten dicht vor's Auge hält. Dabei sieht man natürlich nicht gerade aus, sondern nach links, wenn die brechende Kante des Prisma links liegt; diese Kante sowol, als der Spalt des Pappstücks sollen senkrecht stehen. Damit der im Spalt erscheinende farbige Streif genügend hell beleuchtet wird, stellt man sich mit dem Rücken an ein Fenster, durch welches helles Tageslicht, aber nicht der unmittelbare Sonnenschein, hereinfällt. Durch das Prisma erkennt man bei jeder Farbe unserer Farbenscheibe sofort, daß sie keineswegs einfach ist; befindet sich das Hellblau hinter dem Spalt, so erkennt man ein ganzes Spectrum, in dem nur das Gelb fehlt. Die am wenigsten zusammengesetzten Farben sind noch Roth und Grün; das Roth enthält außer Roth und etwas Orange nur Spuren von Grün und Violett; das Grün nur den Theil des Spectrums zwischen Gelbgrün und Blaugrün und noch schwaches Roth.

Natürlich kann man anstatt der Farbenscheibe auch andere farbige Körper hinter den Spalt bringen und so untersuchen, immer zeigen sich die Farben derselben als zusammengesetzt.

Um Weiß hervorzubringen ist es nicht nöthig, alle Farben zu mischen, welche im Spectrum enthalten sind, es giebt auch Gemische von nur zwei Farben, welche weiß erscheinen. Je zwei Farben — sie mögen selbst zusammengesetzte oder einfache sein — welche zusammen Weiß geben, nennt man **Complementärfarben**. Zu irgend einer gegebenen einfachen Farbe diejenige aufzusuchen, welche ihr complementär ist, d. h. welche mit ihr zusammen Weiß giebt, ist schwierig; leichter findet man die Complementärfarbe irgend einer Farbe unserer Farbenscheibe. Man schneidet aus schwarz angestrichener, dünner Pappe ein Stück von solcher Form, daß es, auf die Farbenscheibe gelegt, den kleinen schwarzen Kreis in der Mitte und zwei einander gegenüberliegende, gleich gefärbte Kreisausschnitte verdeckt, versieht dasselbe in der Mitte mit einem Loch und schraubt es mit der Farbenscheibe zugleich auf die Scheibe der Schwungmaschine fest. Beim Drehen erscheint die Farbenscheibe jetzt nicht mehr weiß, sondern gefärbt; ist beispielsweise das Gelb verdeckt, so erscheint sie violett, bei verdecktem Grün blauroth, bei verdecktem Hellblau orange u. s. f. Daß die beim Drehen auftretende Farbe die verdeckte Farbe zu Weiß ergänzt, ist ohne weiteres klar, da ja Weiß entsteht, wenn nichts verdeckt ist.

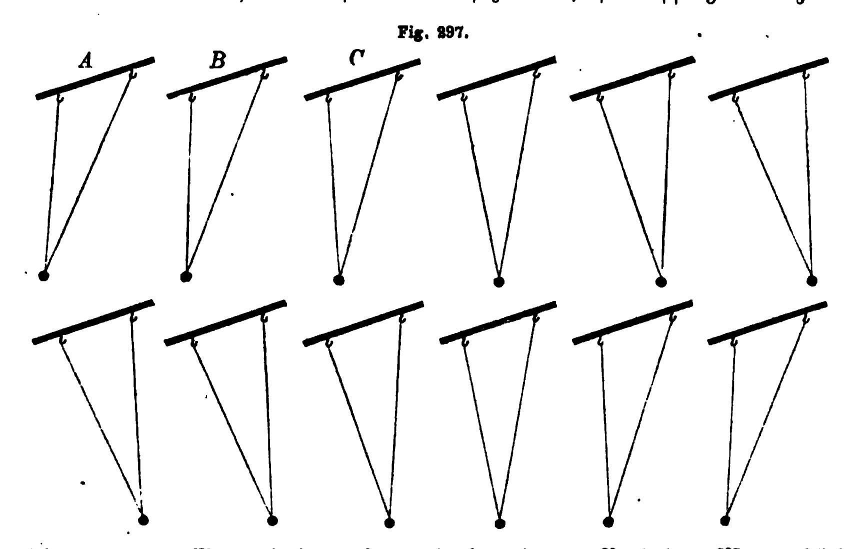
Wirkt eine Farbe recht lebhaft auf unser Auge ein, so entsteht in diesem eine Neigung, die Complementärfarbe da wahrzunehmen, wo sie gar nicht ist. Stellt man bei Tage in einiger Entfernung vom Fenster eine brennende Kerze in kleiner Entfernung von einem weißen Papierblatt, vor das man einen Bleistift hält, so auf, daß der Bleistift zwei etwa gleich dunkle Schatten wirft, deren einer von der Kerze, deren anderer vom Tageslichte herrührt, so erscheinen nicht beide Schatten grau, sondern der eine bläulich, der andere röthlich. Das Licht der Kerze ist nicht rein weiß, sondern gelblich; darum erscheint auch das von ihr und dem Tageslichte erhellte Papierblatt blaßgelblich. Der Schatten, den die Kerze wirft, also der vom Tageslicht rein weiß beleuchtete Theil des Papiers erscheint durch den Gegensatz gegen die

große blaßgelbe Fläche bläulich; der Schatten, den das Tageslicht wirft, also die von der Kerze gelblich beleuchtete Fläche erscheint röthlich durch den Gegensatz gegen die weniger gelbliche große Fläche und den bläulichen Kerzenschatten. Legt man ein kleines Stück grauen Papieres auf eine lebhaft gefärbte Fläche (ein Stück einfarbiges Zeug oder buntes, glanzloses Papier) und läßt beides recht hell, am besten durch die Sonnenstrahlen, beleuchten, so erscheint das graue Papier complementär gegen die Unterlage gefärbt, bei blauer Unterlage erscheint es gelb, bei rother grün u. s. f.

Man bezeichnet diese, durch den Gegensatz gegen andere Farben hervorgerufenen Farbenempfindungen als Contrastfarben.

Die Fortdauer des Lichteindrucks im Auge läßt sich benutzen, um Dinge durch Bilder in scheinbarer Bewegung darzustellen. Wenn man das Bild Fig. 297 A betrachtet, dieses Bild aber nach ganz kurzer Zeit durch das Bild B, dann durch C und so weiter ersetzt wird, so empfängt man ziem-

Fig. 297.



lich genau den Eindruck eines hin- und hergehenden Pendels. Man erblickt nach einander zwölf verschiedene Bilder, jedes Bild aber ist nur wenig von dem vorhergehenden verschieden, so daß man das Plötzliche des Uebergangs von einem Bilde zum andern nicht gewahr wird, sondern ein sich allmählich änderndes Bild zu sehen glaubt. Um die einzelnen Bilder nach einander genau an derselben Stelle zu sehen, so daß sie sich zu dem Bilde des bewegten Körpers verbinden, reicht es aber nicht aus, sie dem Auge nacheinander vorzuführen, indem man etwa einen Streifen, auf dem sie sich befinden, am Auge vorbeizieht; es muß vielmehr dafür gesorgt werden, daß man jedes Bild allemal nur an einer bestimmten Stelle erblicken, nicht aber sein Weiterrücken bemerken kann. Es kann dies auf verschiedene Weise bewerkstelligt werden, z. B. durch die sogenannte stroboskopische Scheibe (Phänakistoskop) Fig. 298 A, eine Scheibe mit soviel Oeffnungen am Rande, als Bilder desselben Gegenstandes da sind; auf dieser Scheibe werden die Bilder so angebracht, daß sie einen kleineren Kreis bilden, als die Oeffnungen und immer ein Bild einer Oeffnung gerade entspricht. Die Scheibe ist

Elektricität und Magnetismus.

A. Reibungselektricität.

44. **Elektricität durch Reibung, Anziehung und Abstoßung, Leiter und Nichtleiter.** Eine kleine Korkkugel von 6 bis 10^{mm} Durchmesser wird an einem dünnen, leinenen oder baumwollenen Faden von 20 bis 40^{cm} Länge befestigt und an einem Retortenhalterarme oder dem schon oft gebrauchten Gestell Fig. 35, oder auch an einem passend gebogenen Drahtgestell (Fig. 301) aufgehängt und ihr eine trockene Siegellackstange genähert, die man mit einem wollenen Läppchen gerieben hat; man bemerkt, daß die Korkkugel von der Siegellackstange angezogen wird und wol auch einige Zeit an ihr hängen bleibt. Ein Federhalter von Horngummi zeigt nach dem Reiben mit Wolle die nämliche Erscheinung und dasselbe thun noch viele andere Körper, z. B. ein nicht zu kleines Stück Schwefel. Ein handgroßes Stück recht trockenes Schreibpapier, das man auf einem mäßig warmen Ofen gut getrocknet hat, auf ein gleichfalls gewärmtes Brettchen legt und mit einer gewärmten Kleiderbürste einigemal der Länge nach bürstet, zeigt, an den beiden schmalen Seiten mit beiden Händen gefaßt, schnell aufgehoben und ausgespannt der aufgehängten Korkkugel genähert, eine sehr kräftige Anziehung.

Fig. 301.

a. P. ¼ nat. Gr.

Wir bemerken an diesen geriebenen Körpern eine Anziehungskraft, welche die Körper für gewöhnlich nicht zeigen und welche Etwas überraschendes hat für den, der sie zum ersten male wahrnimmt. An und für sich ist diese besondere Kraft nicht räthselhafter, als etwa die Schwerkraft; wir vermögen weder von der einen noch von der anderen anzugeben, worin sie ihren Grund hat; die Anziehungskraft der geriebenen Körper erscheint uns nur darum fremdartiger, weil wir sie nicht so häufig in Wirksamkeit sehen, als die Schwerkraft, da sie nicht fortwährend, sondern nur unter gewissen Umständen auftritt.

Zuerst hat man diese Anziehungserscheinungen bemerkt am geriebenen Bernstein (griechisch ἤλεκτρον, sprich elektron) und danach nennt man die Körper, welche durch Reibung diese Anziehungskraft erlangt haben, elektrisch, die Ursache der Anziehung und vieler anderer Erscheinungen, welche damit im Zusammenhang stehen, Elektricität. Einen Körper elektrisch

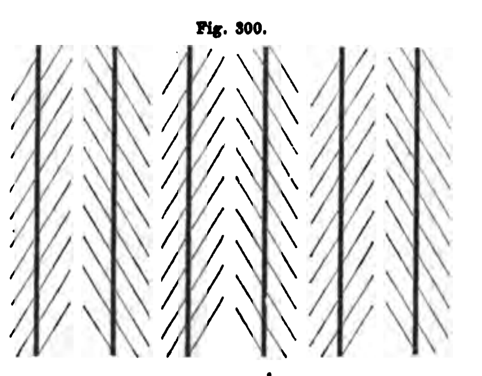
gegenüber, bringt ein Auge hinter die Löcherreihe und versetzt mit der Rechten die Scheibe in Drehung.

Dieselbe Wirkung, wie durch die stroboskopische Scheibe, erhält man durch das sogenannte **Lebensrad** (**Dädaleum**, **Zoëtrop**) Fig. 299. Eine oben offene, außen mit dunklem Papier beklebte Papptrommel von 27^{cm} Weite und 20^{cm} Höhe ist mit 12 in gleichen Abständen stehenden, senkrechten, 6^{mm} breiten Schlitzen versehen, die von der Mitte der Höhe bis nicht ganz an den obern Rand reichen. Einen 10^{cm} breiten Papierstreifen, welcher die 12 Bilder trägt, legt man in die Trommel so hinein, daß er sich an die Wandung derselben anlegt und versetzt die Trommel in Drehung. Käufliche solche Lebensräder sind gewöhnlich auf einem besonderen Gestell angebracht, auf dem sie sich drehen; viel schöner aber läuft ein solches Rad, das jeder Buchbinder oder Cartonarbeiter nach Angabe der Maße leicht ausführen kann, welches auf die Scheibe der Schwungmaschine aufgeschraubt wird. Aus mäßiger Entfernung sieht man schräg von oben so auf die sich drehende Trommel, daß man durch einen Schlitz immer das gegenüberliegende Bild erblickt. Die Leichtigkeit, mit der man die Bilderstreifen wechseln kann und der Umstand, daß mehrere Personen zugleich von verschiedenen Seiten her die auf dem Tische stehende Vorrichtung betrachten können, geben ihr einen entschiedenen Vorzug vor der stroboskopischen Scheibe.

Streifen mit Bildern für das Lebensrad sind z. B. bei **Carl Kuntze** in Leipzig in einer Anzahl von Serien erschienen; jede Serie enthält 12 Reihen von Bildern, je zwei Reihen auf beiden Seiten eines Papierstreifens. — Im angegebenen Verlag ist auch eine Serie Bilder auf runden Blättern erschienen; diese sind bestimmt, auf den Boden des Lebensrades gelegt zu werden, sie können aber auch zur stroboskopischen Scheibe gebraucht werden, die dann nur 15^{cm} Halbmesser zu haben braucht.

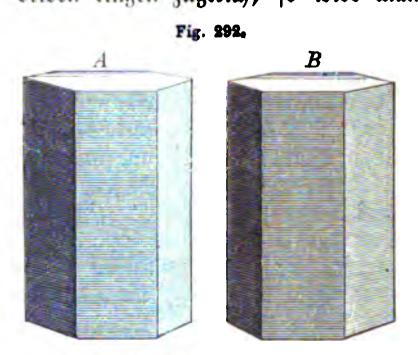
Viele Eigenthümlichkeiten des Auges und seiner Thätigkeit müssen hier ganz übergangen werden, theils wegen Mangel an Raum, theils wegen zu großer Schwierigkeit ihrer Erklärung. Es mag aber wenigstens noch ein Beispiel angeführt werden von den merkwürdigen Täuschungen, denen das Auge unter gewissen Bedingungen unterworfen ist. Solche Täuschungen, zu denen auch die Wahrnehmung der Contrastfarben gehört, heißen kurzweg **optische Täuschungen**. Die starken Linien der Fig. 300 erscheinen wol Jedem bei unbefangener Betrachtung als abwechselnd nach oben und unten zusammenlaufend, obwol sie genau parallel sind; die Täuschung wird durch das Vorhandensein der kleinen, schrägen Linien hervorgerufen. Davon, daß die starken Linien parallel sind, kann man sich überzeugen durch Messung mit dem Zirkel oder einfacher noch dadurch, daß man das Buch beinahe in Augenhöhe flach vor sich hin hält, so daß man ganz schräg von unten nach oben über die Linien hin sieht; bei dieser Lage verschwindet die Täuschung, während sie noch stärker erscheint, als beim gewöhnlichen Ansehen der Figur, wenn man das Buch in Augenhöhe so vor sich hält, daß die **Ebene** der Figur senkrecht steht, die starken, schwarzen Linien aber schief von rechts unten nach links oben oder von links unten nach rechts oben laufen.

Fig. 300.



eckigen Bleistift in einer Entfernung von 20 bis 25^{cm} in senkrechter Stellung gerade vor das Gesicht und schließt oder bedeckt mit der Hand abwechselnd das rechte und das linke Auge, so bemerkt man ganz ähnliche Unterschiede, wie die der Bilder A und B Fig. 292. Sieht man mit beiden Augen zugleich, so wird man sich nicht bewußt, daß man zwei verschiedene Bilder sieht; die beiden Bilder vereinigen sich in unserem Bewußtsein zu der Vorstellung des **Körpers**. Solange man nur mit einem Auge sieht, erkennt man, wie auf einem Bilde, eigentlich nur die Höhe und Breite der Gegenstände; der Tiefe, des Hintereinanderseins verschiedener Gegenstände werden wir uns unmittelbar nur durch das Sehen mit zwei Augen bewußt. Allerdings sind wir durch vielfache Uebung in den Stand gesetzt, die Tiefe des vor uns befindlichen Raumes, die verschiedene Entfernung der Gegenstände auch beim Sehen mit einem Auge zu schätzen, aber viel weniger sicher und immer nur mit Hülfe einer, wenn auch unbewußten Ueberlegung.

Fig. 292.



Wie wenig man im Stande ist, beim Sehen mit einem Auge Entfernungen zu schätzen, läßt sich auf folgende Weise zeigen. Ein 20^{cm} langer Draht von 2 bis 3^{mm} Dicke wird an einem Ende zu einem Ringe von ohngefähr 4^{cm} Durchmesser gebogen; das andere Ende feilt man spitz und steckt es von oben auf den Stab eines Retortenhalters, von dem man den Arm ganz entfernt oder wenigstens möglichst weit niedergeschoben hat. Den Halter mit dem Ring stellt man auf einen frei im Zimmer stehenden Tisch, nimmt dann die Spitze eines mit einem Hakengriff versehenen Spazierstockes in eine Hand, bedeckt mit der anderen Hand ein Auge, nähert sich nun aus einer Entfernung von einigen Metern dem Halter und versucht den Haken des mit halb ausgestrecktem Arm gehaltenen Stockes in den Ring einzuhaken; man wird in den meisten Fällen das erste Mal den Ring nicht erreichen oder über ihn hinausfahren, während man, wenn man mit beiden Augen sieht, ohne alle Mühe gleich das erste Mal den Ring richtig trifft.

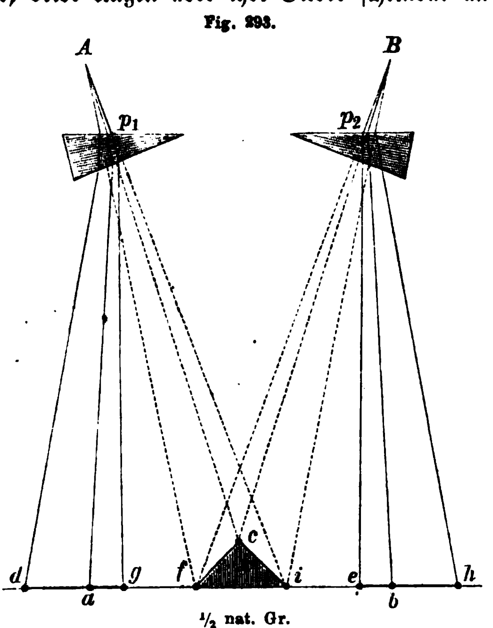
Es ist zweckmäßig, den Halter so aufzustellen, daß sich der Drahtring wenig tiefer befindet, als der Kopf dessen, der den Versuch macht. Noch schwieriger ist es, den Ring beim Sehen mit einem Auge zu treffen, wenn er an einem feinen Faden von der Decke des Zimmers herabhängt; ein so aufgehängter Ring dreht sich aber lange Zeit hin und her; er muß geraume Zeit hängen, ehe er ruhig wird.

Ein vollkommen richtig gezeichnetes Bild eines Körpers wird (wenigstens was die Form anlangt) auf ein einzelnes Auge ganz denselben Eindruck machen, wie der Körper selbst, da wir mit einem Auge die verschiedene Entfernung der Theile eines Körpers ebenso wenig unmittelbar sehen können, wie sie sich im Bilde unmittelbar darstellen läßt. Soll ein gemaltes Bild eine möglichst vollkommene Täuschung hervorrufen, d. h. soll es in uns möglichst lebhaft die Vorstellung der Dinge hervorrufen, welche es darstellt, so muß man deshalb dasselbe mit nur einem Auge betrachten; öffnet man beide Augen, so giebt das gemalte Bild in beiden Augen die nämliche Ansicht und dadurch wird sofort der Unterschied deutlich zwischen dem Bilde und den wirklichen Gegenständen, die für beide Augen verschiedene Ansichten bieten. Hat man ein gutes Bild, am besten ein in kleinem

Maßstabe gemaltes Bild eines Säulenganges, einer Kirche oder dergl. mit einem Auge betrachtet (indem man das zweite Auge schließt oder mit der Hand bedeckt) und bei längerem Hinsehen eine recht deutliche Vorstellung von der Tiefe des dargestellten Raumes erhalten, so verschwindet die Täuschung fast ganz, wenn man das zweite Auge öffnet; es macht förmlich den Eindruck, als ob die vortretenden Theile des Bildes zurücksänken, die zurücktretenden vorkämen und der scheinbar in die Tiefe sich erstreckende Raum sich wieder zu der ebenen Fläche des Bildes abflachte.

Den besten Beweis dafür, daß das Körperlichsehen der Dinge seinen Grund darin hat, daß die beiden Augen zwei etwas verschiedene Bilder erblicken, liefert das Stereoskop, welches zwei von etwas verschiedenen Standpunkten aus aufgenommene Bilder den beiden Augen so darbietet, daß jedes Auge nur eines der Bilder sieht, beide Augen aber ihre Bilder scheinbar an der nämlichen Stelle erblicken: sind die beiden Bilder des Stereoskops richtig, so erhält man durch dasselbe die vollkommenste Täuschung; man glaubt in der That körperliche Dinge vor sich zu haben. In Fig. 293 sei bei A das linke, bei B das rechte Auge, a das für das linke, b das für das rechte Auge bestimmte Bild; p_1 und p_2 seien zwei Glasprismen, durch deren jedes man mit einem Auge sieht. Wir wissen von früher, daß ein Prisma die durchgehenden Lichtstrahlen so bricht, daß sie von der brechenden Kante weggelenkt werden, ein hindurchgesehener Gegenstand aber nach der brechenden Kante zu gerückt erscheint; das Prisma p_1 bricht den von a kommenden Strahl a p_1 so, daß er fortgeht in der Richtung p_1 A, also so, als ob er aus c käme; das Prisma p_2 bricht den Lichtstrahl b p_2 so, daß er dem Auge B ebenfalls aus c zu kommen scheint; man glaubt in der That einen bei c befindlichen Körper zu sehen, wenn die Bilder a und b so gezeichnet sind, wie ein bei c befindlicher Körper den Augen A und B erscheinen würde, wenn die Prismen p_1 und p_2 nicht da wären. So, wie die Punkte a und b der beiden Bilder bei der Betrachtung durch die Prismen zu dem Punkte c vereinigt erscheinen, so geben die Punkte d und e zusammen den Punkt f, die Punkte g und h zusammen den Punkt i.

Fig. 293.



½ nat. Gr.

Die Stereoskope, welche man gegenwärtig vielfach antrifft, haben in Wirklichkeit nicht ebenflächige Prismen, sondern solche mit gewölbten Flächen, die nicht blos den Zweck haben, die Lichtstrahlen seitlich abzulenken, sondern die zugleich auch wie Convexlinsen eine Vergrößerung der Bilder bewirken,

Knöchel des zusammengebogenen Fingers in einiger Entfernung von wenigen Millimetern längs eines elektrischen Glasstabes hin, so hört man ein leises Knistern und fühlt wol auch ein ganz schwaches Prickeln in dem Fingerknöchel. Macht man den Versuch im Dunkeln, so nimmt man auch eine schwache Lichterscheinung, sogenannte elektrische Funken, wahr.

Außer durch Reibung kann man einen Körper auch dadurch elektrisiren, daß man ihn mit einen anderen elektrischen Körper berührt, der ihm einen Theil seiner Elektricität mittheilt. Hält man einen stark elektrischen Glasstab einige Centimeter über ein paar Hollundermark- oder Korkkügelchen, die auf dem Tische liegen, so springen diese nach dem Glasstab hin; sobald sie ihn aber berührt haben, werden sie eben so lebhaft zurückgeschleudert, weil sie im Augenblick der Berührung etwas von der Elektricität des Glases aufnehmen und dann von diesem, als gleichartig elektrisch, abgestoßen werden.

Auch mit einem elektrischen Pendel kann man ähnliche Versuche anstellen, doch darf für diesen Zweck die Kugel desselben nicht an einem baumwollenen oder leinenen, sondern sie muß an einem seidenen Faden hängen; wir werden bald sehen, warum dies nöthig ist. Die an dem Seidenfaden hängende Kugel wird nach der Berührung mit einem elektrischen Körper von diesem abgestoßen; entfernt man dann diesen Körper, läßt die Kugel zur Ruhe kommen und nähert die Hand, so zeigt die Kugel, daß sie elektrisch ist dadurch, daß sie von der unelektrischen Hand angezogen wird. Diese Anziehung dauert aber nur so lange, bis sie die Hand berührt hat; durch diese Berührung verliert sie ihre Elektricität.

Der Seidenfaden zur Aufhängung der Korkkugel soll möglichst dünn sein; am besten dient ein einfacher Faden, den man unmittelbar von einem Cocon abwickelt; in Ermangelung eines solchen zieht man aus einem Faden ungedrehter Seide eine möglichst feine und lange Faser heraus; die Länge des Pendels soll nicht unter 15^{cm} betragen. Durch einen Knoten läßt sich bei einem so dünnen Faden das Zurückrutschen durch das mit einer Nadel in die Kugel gestochene Loch nicht verhindern; man klebt das durchgezogene Ende des Fadens mit ein ganz klein wenig Wachs fest, das man durch Kneten zwischen den Fingern erweicht hat.

Der Seidenfaden muß ordentlich trocken sein, wenn die Versuche gelingen sollen. Ueber die Lampe darf man ihn nicht bringen, ohne ihn zu versengen; ist er feucht, so trocknet man ihn durch Annähern an einen mäßig warmen Ofen oder durch Umwickeln um einen dicken Draht, den man soweit erwärmt hat, daß man ihn eben noch bequem mit der Hand anfassen kann.

Eine Glas- oder Siegellackstange, die man nur an einem Ende gerieben hat, sind auch nur da elektrisch; nur dieses Ende zieht das elektrische Pendel an und stößt es, wenn es am Seidenfaden hängt, nach der Berührung wieder ab. Anders verhalten sich viele Körper, die durch Berührung elektrisirt worden sind. Mittelst zweier starker Fäden oder schwacher Schnüre von reiner Seide spannt man einen ziemlich langen, etwa 1^{mm} dicken Messingdraht aus, der an einem Ende zu einem kleinen Ring c, Fig. 303 A, zusammengedreht, am andern Ende außerdem noch abwärts gebogen und mit einer angelötheten Blechscheibe b von 2 bis 3^{cm} Durchmesser versehen ist. An dieser Blechscheibe liegt die Kugel eines kleinen elektrischen Pendels an, das bei a angeknüpft ist. Den Draht macht man nur etwa 1 bis 2^{m} kürzer,

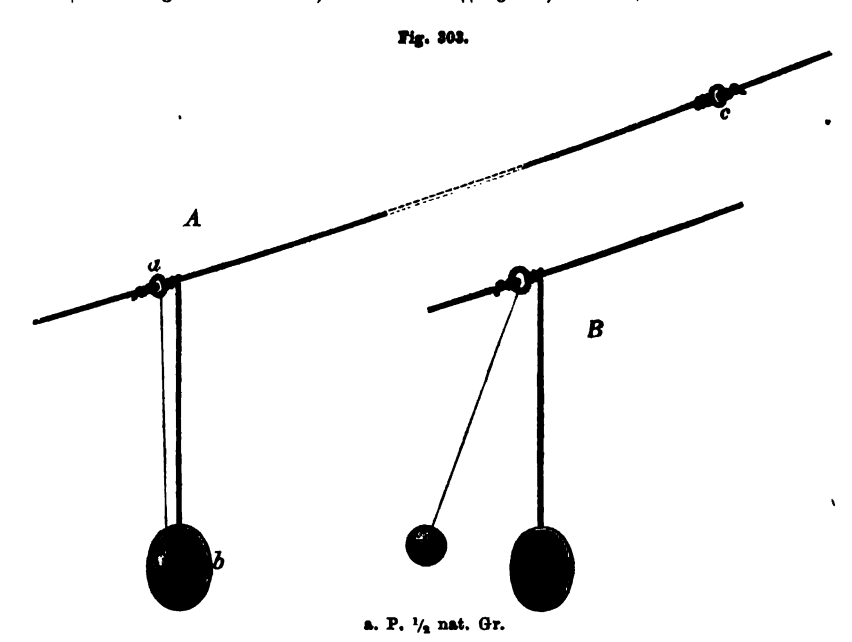
---

und in welche sich ein Bestandtheil der Luft, das Sauerstoffgas, durch die Elektricitä verwandelt.

als das Zimmer; die Seidenschnüre, welche den Draht tragen, werden an den Angeln zweier einander gegenüberliegender Thüren oder auch an eine Thür und einem Fenster oder an fest in die Wand eingeschlagenen Nägeln angeknüpft.

Fährt man mit dem durch Reiben elektrisch gemachten Glasstab an der Blechscheibe b hin, so daß diese den Stab seiner Länge nach streift und dabei einen großen Theil seiner Elektricität aufnimmt, so wird das Pendelchen von der Scheibe abgestoßen, Fig. 303 B, weil es einen Theil der nämlichen (positiven) Elektricität aufnimmt. Sobald man aber die Blechscheibe mit der Hand berührt, springt ein kleiner elektrischer Funke zwischen beiden über, die Elektricität entfernt sich durch unseren Körper und das Pendelchen fällt in seine Ruhelage zurück. Theilt man die Elektricität des Glasstabes irgend einem Theile des Messingdrahtes mit, indem man an a

Fig. 303.



a. P. 1/4 nat. Gr.

oder an der Mitte des Drahtes oder auch an c mit dem Glasstabe hinfährt, so wird das Pendel ganz in der nämlichen Weise abgestoßen; es wird also die Blechscheibe ebensogut elektrisch, als wenn man ihr unmittelbar Elektricität mitgetheilt hat. Wie lang auch der Draht sein mag, sobald man ihn bei c elektrisirt, erscheint auch b elektrisch; die Elektricität verbreitet sich unglaublich schnell über die ganze Länge Drahtes; man nennt deshalb den Draht einen Leiter (Conductor) der Elektricität. Zu den Leitern gehört auch der menschliche Körper, der gewöhnliche Fußboden, die Erde; deshalb verschwindet die Elektricität des Drahtes oder eines an einem Seidenfaden hängenden, elektrischen Pendels durch die Berührung mit der Hand, sie fließt durch unseren Körper nach der Erde ab. So wie es gleichgültig ist, an welchem Punkte man dem Draht die Elektricität mittheilt, so ist es auch gleichgültig, an welchem Punkte man ihn berührt, um sie ihm wieder zu

entziehen; so wie er augenblicklich in seiner ganzen Ausdehnung elektrisch wird, so verliert er auch augenblicklich alle Elektricität. Pflanzenfasern, also auch Leinen und Baumwolle, sind leitende Körper, deshalb wird die an einem Leinen- oder Baumwollenfaden hängende Korkkugel niemals elektrisirt; alle Elektricität, die man ihr mittheilt, geht durch den Faden fort; die an einem solchen Faden hängende Kugel kann deshalb nie abgestoßen, sondern immer nur angezogen werden.

Seidenfäden vermögen die Elektricität nicht fortzupflanzen, ebenso verhalten sich Glas, Siegellack, Schwefel, Horngummi. Man nennt diese Körper Nichtleiter (Isolatoren). Ob ein Körper die Elektricität leitet oder nicht, erkennt man leicht, wenn man den elektrisch gemachten Draht damit berührt; die Berührung mit einem Leiter macht denselben augenblicklich unelektrisch, so daß das Pendel niederfällt; eine Berührung mit einem Nichtleiter ändert seinen Zustand nicht. Man kann sich auf diese Weise leicht überzeugen, daß alle Metalle, Kohle, Holz, Papier, Pflanzenfasern zu den Leitern, alle Körper, die, wenn man sie in der Hand hält und reibt, elektrisch werden, zu den Nichtleitern gehören. Berührt man den elektrischen Draht mit einem Holzspahn oder einem Papierstreifen, die man durch längeres Erwärmen recht sorgfältig getrocknet hat, so fällt das elektrische Pendel nicht augenblicklich zurück, sondern sinkt langsam nieder, weil diese Körper die Elektricität nur schlecht leiten und sie deshalb dem Draht nur allmählig entziehen. Eigentlich sind diese Pflanzenstoffe gar keine Leiter, sie werden nur dadurch leitend, daß sie aus der Luft Wasserdunst aufsaugen; je wasserhaltiger sie sind, um so besser leiten sie die Elektricität. Daß das Wasser ein Leiter ist, erkennt man am einfachsten, wenn man einen Nichtleiter, z. B. eine Siegellackstange der ganzen Länge nach befeuchtet und damit den elektrischen Draht berührt; dieser verliert augenblicklich seine Elektricität.

Die zur Elektricitätserregung gut geeigneten Glasstäbe lassen sich nicht ihrer ganzen Länge nach dauernd benetzen; das Wasser zieht sich auf ihnen in einzelne Tropfen zusammen, die untereinander nicht in Verbindung stehen und deshalb keine Fortleitung der Elektricität bewirken; viele andere Glassorten hingegen erscheinen als Leiter, solange man nicht die auf ihnen haftende, unsichtbare Wasserschicht durch Erwärmen vertreibt.

Nicht alle tropfbaren Körper sind Leiter, fette Oele z. B. leiten die Elektricität nicht; eine mit Oel bestrichene Siegellackstange entzieht dem elektrischen Drahte ebensowenig seine Elektricität, wie eine ganz trockene.

Will man einen leitenden Körper elektrisch machen, so muß man dafür sorgen, daß er die ihm mitgetheilte Elektricität nicht an andere Körper abgeben kann; man muß ihn also außer Verbindung mit anderen leitenden Körpern bringen; man muß ihn isoliren, d. h. ihn ausschließlich an Nichtleiter befestigen.

Man isolirt einen Körper, indem man ihn an Seidenfäden aufhängt, oder indem man ihn auf Füße von Glas oder Siegellack stellt. Siegellackfüße sind leicht anzubringen, aber sehr leicht zerbrechlich; Glasfüße sind dauerhafter, müssen aber einen Ueberzug von Schellack bekommen, wenn sie nicht aus ganz gutem Glase sind. Schellack, der Hauptbestandtheil des Siegellacks, ist ein braunes Harz (es giebt auch gebleichtes, fast weißes), das in Weingeist gelöst unter dem Namen Schellackfirniß oder Politur (zum Holzpoliren) verkauft wird. Die käufliche Schellacklösung ist trübe; soll der Schellackanstrich auf Glas hübsch durchsichtig werden, so läßt man die Lösung so lange stehen, bis sie sich in zwei Schichten getrennt hat, eine untere, hellbraune, undurchsichtige, dickflüssige und eine obere, dunkelbraune, durchsichtige,

dünnflüssige; man gießt die letztere vorsichtig ab und benutzt nur diese zum Anstrich des Glases; die erstere kann man verwenden, um Holz anzustreichen. Die klare Lösung muß mit einem weichen Haarpinsel auf das erwärmte Glas aufgetragen werden, damit der Anstrich glänzend und durchsichtig wird; auf kaltem Glase bekommt man einen matten, weißlichen, trüben Anstrich. Man erwärmt das Glas über der Lampe so weit, daß beim Darüberstreichen mit dem nicht zu stark benetzten Pinsel der Lacküberzug augenblicklich trocken wird, doch darf der Pinsel nicht zischen, wenn er auf das Glas kommt, weil dabei der Anstrich blasig wird und das Glas leicht springt. Man übt das Lackiren an einigen werthlosen Glasscherben, um sich das richtige Gefühl für den Wärmegrad, den das Glas haben muß, zu erwerben. Man vermeide möglichst eine schon lackirte Stelle wieder mit dem Pinsel zu überfahren, da man sie dadurch leicht verdirbt; einen mißlungenen Lackanstrich entfernt man durch Abreiben mit einem mit Weingeist benetzten Läppchen. Anstatt des Schellackfirnisses bedient man sich wol auch einer Auflösung von rothem Siegellack in Weingeist, um Glas zu lackiren, doch sieht der Siegellackanstrich weniger gut aus; er ist undurchsichtig und nicht glänzend; vor dem Gebrauche muß man die Siegellacklösung umrühren, weil sich beim Stehen die schweren Bestandtheile des Siegellacks zu Boden setzen. Schellacklösung selbst zu machen, ist nicht räthlich; das Schellack ballt sich im Weingeist zusammen und löst sich nur sehr langsam auf.

Das Schellack ist ein vorzüglicher Isolator und hat die Eigenschaft, Wasserdunst auf seiner Oberfläche zu verdichten, in viel geringerem Grade, als die meisten Glassorten; der Schellacküberzug auf Glas, welches zum Isoliren dient, hat den Zweck, diese Verdichtung des Wassers zu verhindern.

Auch beim Reiben von leitenden Körpern wird Elektricität entwickelt, dieselbe ist aber, wenn wir den Leiter beim Reiben in der Hand halten, nicht wahrzunehmen, weil sie durch die Hand sich sofort entfernt; um sie zu beobachten, müssen wir einen isolirten Leiter reiben.

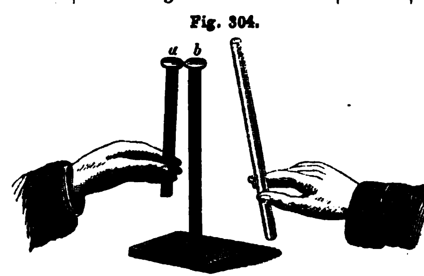
Ein an das Ende einer Stange von ordinärem Packlack gekittetes, glattes Kupferstück, am einfachsten eine etwas große, abgegriffene Kupfermünze reibt man recht schnell und leise auf einem Stück Pelzwerk (einem Stückchen Katzenfell oder dergl.), indem man das andere Ende der Siegellackstange zwischen Daumen und Zeigefinger der rechten Hand faßt und die Stange wie einen Pinsel, den man ausspritzen will, schleudernd bewegt, so daß die Kupfermünze leise über das auf der flachen, linken Hand liegende Pelzstück streift; ein einziger Strich reicht aus, um das Kupferstück genügend stark zu elektrisiren, daß es die am Leinenfaden aufgehängte Korkkugel merklich (auf 1 bis 2^{cm} Entfernung) anzieht.

45. Elektrische Vertheilung, Goldblattelektroskop, Elektrophor. Ganz eigenthümliche Erscheinungen zeigen sich, wenn man einen elektrischen Körper in die Nähe eines unelektrischen, isolirten Leiters bringt, aber nicht so nahe, daß ein Fünkchen überspringt, oder sonst wie Elektricität übergeht. Am leichtesten kann man diese Erscheinungen studiren, wenn man einen in zwei Hälften zerlegbaren Leiter anwendet, etwa zwei an Siegellackstangen isolirte Metallstücke, wie sie im Vorhergehenden beschrieben sind. Eine der beiden Siegellackstangen klebt man auf ein kleines Brettchen, so daß sie aufrecht steht und oben wagrecht das Metallstück trägt; die andere hält man mit der linken Hand so, daß sich die Ränder der Metallstücke eben berühren, während man mit der Rechten einen geriebenen Glasstab nähert, Fig. 304. Der elektrische Körper soll so viel genähert werden, als möglich ist, ohne daß Elektricität von ihm nach den Metallstücken übergeht; man probirt also zunächst, wie nahe man kommen kann, ohne daß nach dem Wiederentfernen des Glas-

stabes die Metallstücke eine Anziehung gegen ein elektrisches Pendel zeigen. Dabei achte man darauf, daß die Metallstücke sich ordentlich berühren, so lange der Glasstab in der Nähe ist; nach dem Entfernen des Glasstabes kann man eines der Metallstücke dem Pendel nähern, es darf keines von beiden Elektricität zeigen.

Nachdem man so die kleinste, zulässige Entfernung gefunden hat, bei der man noch vollkommen sicher ist, daß der Stab keine Elektricität an das Metall abgiebt, wiederholt man den Versuch, aber so, daß man, nachdem man den Glasstab genähert hat, die Berührung der Metalle aufhebt, indem man das Metallstück, dessen Stiel man in der Linken hält, einige Millimeter von dem anderen entfernt. Untersucht man nun, nachdem auch der Glasstab entfernt worden ist, die beiden Metallstücke einzeln, indem man eines nach dem andern einem leitend aufgehängten elektrischen Pendel nähert, so zeigen sich beide elektrisch und zwar beide gleich stark. Um die Art der Elektricität zu untersuchen, theilt man einem isolirt aufgehängten Pendel mittelst eines geriebenen Glasstabes positive Elektricität mit, und wiederholt den Versuch. Dabei zeigt sich, daß das Metallstück a das Pendel abstößt, das Metallstück b dasselbe anzieht, daß also a positiv, b negativ elektrisch ist. Nachdem man sich durch mehrmalige Wiederholung des Versuches überzeugt hat, daß jedesmal, wenn man den elektrischen Glasstab dem einen von beiden sich berührenden Metallstücken nähert, dann diese Stücke etwas von einander entfernt und schließlich den Glasstab wegnimmt, die beiden Stücke entgegengesetzte Elektricität zeigen, bringt man die auf solche Weise elektrisch gemachten Metallstücke nach dem Entfernen des Glasstabes wieder in Berührung; bei der Prüfung am leitenden Pendel erscheinen sie dann vollkommen unelektrisch.

Fig. 304.



a. P. 1/3 nat. Gr.

Die vorhergehenden Versuche haben uns einen Weg gezeigt, zwei Körper mit entgegengesetzten Elektricitäten zu laden; der letzte Versuch lehrt uns die wichtige Thatsache kennen, daß entgegengesetzte Elektricitäten, wenn sie in gleicher Menge zusammenkommen, sich aufheben, — daß Körper, welche von beiden Elektricitäten gleich viel enthalten, sich ganz so verhalten, wie unelektrische Körper.

Da wir den Glasstab den beiden Kupfermünzen nicht soweit genähert haben, daß er Elektricität an sie abgeben kann, da wir also in den Metallstücken Elektricität auftreten sehen, ohne daß wir sie hineingebracht haben, so bleibt uns nichts übrig, als anzunehmen, daß diese Elektricität schon vorher darin enthalten gewesen ist, aber in einer Form, in der wir sie nicht wahrnehmen können. Diese Annahme, daß Körper, welche wir unelektrisch nennen, Elektricität in einer für uns unbemerkbaren Form enthalten sollen, mag für den Anfang unverständlich erscheinen, sie wird uns aber begreiflich dadurch, daß wir durch den letzten Versuch erfahren, daß ein Körper, der beide Elektricitäten in gleicher Menge enthält, in der That ein unelektrischer Körper ist. Wir gehen nun einem Schritt weiter und sagen: jeder unelektrische Körper enthält beide Elektricitäten zugleich und in gleicher Menge.

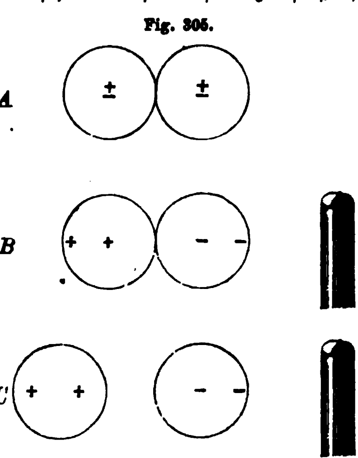
Die Bezeichnung „entgegengesetzte Elektricitäten“ ist daher genommen,

daß diese Elektricitäten, wenn sie zusammenkommen, sich in ihren Wirkungen aufheben; im übrigen zeigt ein positiv elektrischer Körper ganz dieselben Erscheinungen, wie ein negativ elektrischer. Den Zustand der beiden vereinigten Elektricitäten bezeichnen wir durch das Zeichen ± E.

Die Vorstellung, welche wir uns jetzt von der Beschaffenheit eines unelektrischen Körpers gebildet haben, ist geeignet, die Erscheinungen zu erklären, welche sich bei der Annäherung eines elektrischen Körpers an unelektrische Leiter zeigen, wir wir sie bei der Einwirkung des Glasstabes auf unsere Kupfermünzen beobachten. Den Vorgang, welcher dabei stattfindet, nennt man elektrische Vertheilung oder Influenz. Die Elektricität des Körpers, welcher die Vertheilung bewirkt — bei unseren Versuchen die positive Elektricität des Glasstabes — heißt der vertheilende oder influenzirende.

Kommt ein mit Elektricität geladener Körper in die Nähe eines unelektrischen, d. h. also, eines beide Elektricitäten enthaltenden Körpers, so sucht seine Elektricität die gleichnamige des unelektrischen Körpers fort zu stoßen, die entgegengesetzte heran zu ziehen. Ist nun der unelektrische Körper ein Leiter, so daß sich in ihm die Elektricitäten bewegen können, so folgen sie dieser Anziehung und Abstoßung; die gleichnamige Elektricität begiebt sich an den Theil, welcher von dem genäherten, elektrischen Körper abgewendet ist; die entgegengesetzte geht in den ihm zugewendeten Theil. Wenn wir unseren geriebenen Glasstab den beiden, in Berührung befindlichen Kupfermünzen von der rechten Seite nähern, so zieht seine positive Elektricität die in denselben enthaltene negative Elektricität in die rechts befindliche Münze und treibt die positive nach links. Fig. 305 A deutet die Anordnung der Elektricität vor der Annäherung, Fig. 305 B die nach der Annäherung des Glasstabes an. Entfernen wir den Glasstab wieder, solange sich die Metallstücke noch berühren, so vereinigen sich die vertheilten Electricitäten wieder, der in Fig. 305 A dargestellte Zustand tritt wieder ein, die Münzen sind wieder unelektrisch; trennen wir aber die Metallstücke, solange sich der Glasstab noch in der Nähe befindet, Fig. 305 C, so ist eine Wiedervereinigung der Elektricitäten beim Entfernen des Glasstabes nicht mehr möglich, die Münzen zeigen sich bei der Prüfung am Pendel entgegengesetzt elektrisch; bringt man sie aber nach der Entfernung des Glasstabes wieder in Berührung, so erfolgt eine Vereinigung der Elektricitäten und die Münzen sind wieder unelektrisch.

Fig. 305.



$^1/_2$ nat. Gr.

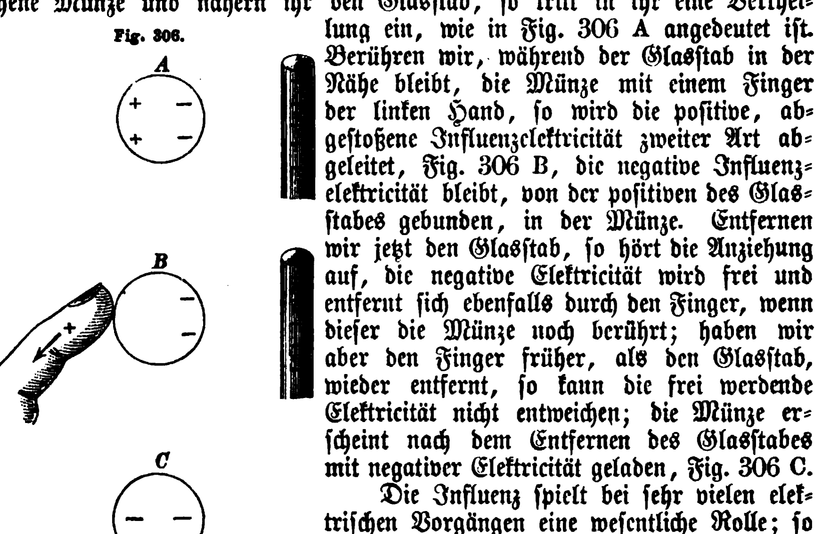
Diejenige Elektricität, welche von der influenzirenden angezogen wird, also die ihr entgegengesetzte, heißt die Influenzelektricität erster Art, die Elektricität, welche der influenzirenden gleichnamig ist und von ihr abgestoßen wird, heißt Influenzelektricität zweiter Art. Die Elektricität des Glasstabes ist positiv, bei der vom Glasstabe hervorgerufenen Vertheilung ist demnach die Influenzelektricität erster Art die negative, die der zweiten Art die positive. Hätten wir die Vertheilung bewirkt durch einen negativ elek-

trischen Körper, so würde die Influenzelektricität erster Art positiv, die zweiter Art negativ sein.

Die beiden Influenzelektricitäten zeigen ein verschiedenes Verhalten, wenn man den Leiter, in dem die Vertheilung vor sich gegangen ist, durch Berührung mit dem Finger, mit einem Draht oder dergl. in leitende Verbindung mit der Erde setzt. Ein leitender Körper, dem man durch Berührung mit einem geriebenen Glasstab Elektricität mitgetheilt hat, verliert dieselbe augenblicklich, wenn er in leitende Verbindung mit der Erde kommt; die Elektricität, welche sich bei der Ableitung sofort entfernt, nennt man frei. Von den beiden Influenzelektricitäten ist nur die der zweiten Art frei, die der ersten Art ist gebunden, d. h. festgehalten durch die Anziehung der influenzirenden Elektricität.

Nehmen wir nun die mit dem Fußbrettchen an der Siegellackstange versehene Münze und nähern ihr den Glasstab, so tritt in ihr eine Vertheilung ein, wie in Fig. 306 A angedeutet ist. Berühren wir, während der Glasstab in der Nähe bleibt, die Münze mit einem Finger der linken Hand, so wird die positive, abgestoßene Influenzelektricität zweiter Art abgeleitet, Fig. 306 B, die negative Influenzelektricität bleibt, von der positiven des Glasstabes gebunden, in der Münze. Entfernen wir jetzt den Glasstab, so hört die Anziehung auf, die negative Elektricität wird frei und entfernt sich ebenfalls durch den Finger, wenn dieser die Münze noch berührt; haben wir aber den Finger früher, als den Glasstab, wieder entfernt, so kann die frei werdende Elektricität nicht entweichen; die Münze erscheint nach dem Entfernen des Glasstabes mit negativer Elektricität geladen, Fig. 306 C.

Fig. 306.



½ nat. Gr.

Die Influenz spielt bei sehr vielen elektrischen Vorgängen eine wesentliche Rolle; so unter anderen beim Gebrauch des Goldblattelektroskops und des Elektrophors.

Das Goldblattelektroskop ist ein Metallstäbchen, das oben einen kugeligen Knopf oder eine runde Platte, unten zwei schmale Streifchen von Blattgold trägt und mit seinem unteren Theile in eine Glasflasche eingeschlossen ist, Fig. 307 A und B.

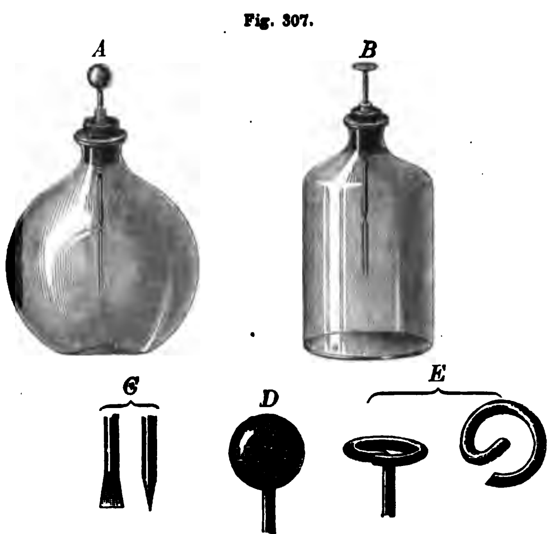
Als Gefäß für ein Goldblattelektroskop benutzt man womöglich ein Kochfläschchen mit recht kurzem Hals oder eine Schusterkugel, welche unten flach ist, so daß sie von selbst steht; es kann aber jede kurzhalsige, nicht zu enge Flasche von durchsichtigem Glase dienen. Die Schusterkugeln haben den einzigen Uebelstand, daß der Hals gewöhnlich eng, nicht ordentlich rund und scharfkantig ist; um einen Kork darin fest einzusetzen, muß man ihn in der Regel mit Siegellack festkitten.

Ein 8 bis 12^{cm} langes Stück von 2^{mm} starkem Messingdraht wird gerade gerichtet, an beiden Enden durch Ausglühen weich gemacht und an einem Ende breit geklopft. Mit der Schlichtfeile bearbeitet man dieses Ende so, daß es die Form einer Meißelschneide von 3^{mm} Breite erhält, Fig. C. An das andere Ende gießt man entweder eine Bleikugel, nachdem man es zu einem kleinen Ringe, Fig. 307 D, gebogen hat oder man biegt es, wie Fig. 307 E und löthet dann darauf eine kleine

runde Metallplatte. Die Kugel oder Platte soll möglichst glatt sein; eine Bleikugel muß man durch sorgsames Beschneiden mit einem scharfen Messer glätten; als Platte nimmt man am besten eine kleine Kupfermünze, von der alles Gepräge abgegriffen ist. Das Metallstäbchen muß gut isolirt werden, man umgiebt es deshalb an der Stelle, welche in den Kork kommt, mit Siegellack oder noch besser mit Schellack, indem man zunächst das Stäbchen soweit erwärmt, daß das Lack darauf fließt, dann die nöthige Menge Lack darauf bringt und während der Abkühlung des Ganzen durch Rollen zwischen den Fingern zu einem bleistiftdicken Cylinder formt. In den Kork bohrt man ein Loch von solcher Weite, daß der Lackcylinder streng hineinpaßt, dieser soll an beiden Seiten etwas über den Kork vorstehen.

Die beiden Blättchen müssen durchaus aus echtem Blattgold bestehen, unechtes (geschlagenes Messing) ist viel zu steif für unseren Zweck. Ehe man die Fertigkeit erlangt, aus dem äußerst zerreißbaren Blattgold Streifen zu schneiden und diese zu befestigen, verdirbt man unnöthig eine Menge Material; man lasse sich deshalb die Streifchen vom Buchbinder schneiden und ankleben. Sie sollen 3^{mm} breit und 3 bis 5^{cm} lang sein; jedenfalls dürfen sie in keiner Lage die Wand des Glases berühren können, nachdem das sie tragende Metallstäbchen an seine Stelle gebracht ist. Mit einer ganz geringen Spur von Eiweiß, Kleister oder Gummilösung werden sie auf die beiden Flächen des meiselförmigen Drahtendes geklebt. Beim Einführen des Stäbchens mit den Blättchen in das Glas vermeide man jeden Luftzug (es ist zweckmäßig, sich dazu ein Tuch vor Mund und Nase zu binden), damit die Blättchen nicht seitwärts an den Hals geweht werden; wenn sie das Glas berühren, hängen sie gewöhnlich durch Adhäsion so fest, daß man sie nicht unzerrissen wieder losbekommt.

Fig. 307.



A, B 1/4 nat. Gr., C, D, E nat. Gr.

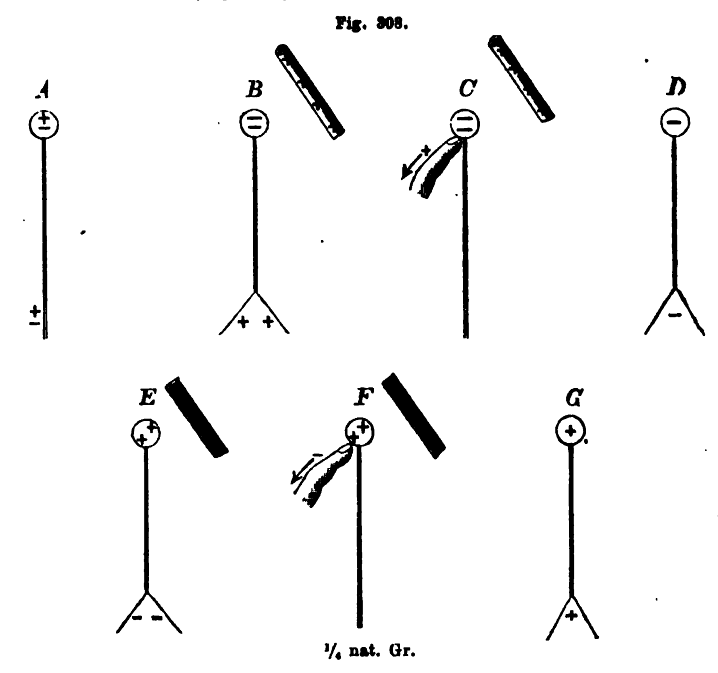
Ehe man den Kork mit den Stäbchen in das Glasgefäß einsetzt, muß dieses ganz rein und trocken sein. Das Austrocknen enghalsiger Gläser geschieht folgendermaßen: Das ausgewaschene und mit reinem Wasser ausgespülte Gefäß wird äußerlich abgewischt und mit abwärts gekehrter Mündung aufgestellt, bis das Wasser möglichst vollständig herausgelaufen ist; läßt sich das Gefäß nicht verkehrt in einem Retortenhalter befestigen, so stützt man die Mündung am besten auf ein Stück zusammengefaltetes Fließpapier. Nach ein- bis zweistündigem Stehen erwärmt man das Gefäß unter fortwährendem Drehen über der Lampe soweit, daß man es eben noch in der Hand halten kann und bläst durch eine fast bis auf den Boden des Gefäßes reichende Glasröhre einen Luftstrom in das Gefäß, welcher den größten Theil des durch die Erwärmung gebildeten Wasserdunstes heraustreibt. Hat man durch abwechselnd wiederholtes Erwärmen und Blasen alle sichtbare Feuchtigkeit entfernt, so erwärmt man nochmals und saugt eine Zeitlang an der wieder bis fast auf den Boden geschobenen Glasröhre, um die beim Blasen ausgeathmete, feuchte Luft durch trockene zu ersetzen. Gewöhnliches Wasser läßt fast immer an den Stellen, wo die letzten Tropfen verdunsten, einen keinen Rückstand; will man ein Gefäß recht rein haben, so spült man

es vor dem Austrocknen mit destillirtem Wasser[60] oder mit Weingeist aus; reiner Weingeist und destillirtes Wasser verdunsten, ohne einen Rückstand zu lassen. Benutzt man Weingeist, so läßt man zuvor das Wasser recht gut auslaufen, damit er nicht zu sehr verdünnt wird und noch zum Brennen zu benutzen ist; vor dem Erwärmen lasse man das mit Weingeist ausgespülte Gefäß einen Tag lang umgekehrt stehen, damit nur noch Spuren von Weingeist vorhanden sind, weil sonst der Weingeistdampf leicht anbrennen kann.

Ist ein Festkitten des Korkes mit Siegellack nöthig, so bringe man das nöthige Siegellack auf und erwärme dann vorsichtig mit Hülfe des Löthrohrs (s. Fig. 121), richte aber die Flamme nur nach dem Rande des Glases, nicht in die Mitte nach dem Metallstäbchen, weil dieses, wenn es warm wird, in dem Schellack oder Siegellack niedersinkt.

Das Glasgefäß hat hauptsächlich den Zweck, die zarten Goldblättchen vor Luftzug und Feuchtigkeit zu schützen; für die elektrischen Vorgänge im

Fig. 308.



$^1/_4$ nat. Gr.

Elektroskop kommen nur die Metalltheile in Betracht, deshalb sind in der zum Folgenden gehörigen Fig. 308 immer nur diese dargestellt.

Nach der Vorstellung, die wir uns über die Beschaffenheit eines unelektrischen Körpers gebildet haben, enthält das Elektroskop im gewöhnlichen Zustande in allen seinen Theilen gleichviel positive und negative Elektricität, Fig. A. Nähern wir ihm von oben einen elektrischen, beispielsweise positiven Körper, so bewirkt dieser eine Vertheilung; er zieht die (negative) Influenzelektricität der ersten Art nach oben und treibt die (positive) der zweiten Art möglichst weit fort, also nach den Blättchen. Diese werden elektrisch und zwar gleichnamig elektrisch, sie stoßen sich ab und da sie außerordentlich

[60] Beim Droguisten oder in der Apotheke zu kaufen.

biegsam sind, so gehen sie auseinander (sie divergiren), Fig. B. Entfernt man den influenzirenden Körper wieder, so vereinigen sich die getrennten Elektricitäten, das Elektroskop wird unelektrisch und die Blättchen fallen zusammen, wie in A. Berührt man, solange der elektrische Körper noch in der Nähe ist und die Elektricitäten des Elektroskops getrennt erhält, das Metallstäbchen mit dem Finger oder einem anderen leitenden Körper, Fig. C, so leitet man die freie (positive) Influenzelektricität zweiter Art, welche sich in den Blättchen befand ab, die Blättchen fallen zusammen; die im Knopfe gebundene (negative) Influenzelektricität aber bleibt da, sie kann erst weggehen, wenn man den influenzirenden Körper entfernt. Nimmt man aber vor der Entfernung dieses Körpers den Finger vom Elektroskop weg, so daß die freiwerdende Elektricität nicht entweichen kann, so verbreitet sich diese über den ganzen leitenden Theil des Elektroskops und bewirkt ein neues Auseinandergehen (Divergenz) der Blättchen, Fig. D.

Fig. 309.

¹/₄ nat. Gr.

Das auf solche Art durch Vertheilung geladene Elektroskop enthält die Influenzelektricität erster Art, ist also entgegengesetzt elektrisch, wie die zum Laden benutzten Körper. Mittelst eines positiv elektrischen Glasstabes laden wir das Elektroskop negativ; mittelst einer negativen Siegellackstange würden wir es positiv laden, wie in den Figuren E, F und G angedeutet ist, welche den Figuren B, C und D entsprechen.

Ein mit einer bekannten Elektricität geladenes Elektroskop läßt leicht erkennen, ob und wie ein Körper elektrisch ist. Nähert man dem geladenen Elektroskop einen unelektrischen Körper, so ändern die Blättchen ihre Lage nicht, Fig. 309 A und B[61]; nähert man einen entgegengesetzt elektrischen Körper, Fig. 309 C und D, so fallen die Blättchen zusammen, weil ihre Elektricität von der des genäherten Körpers angezogen wird und in den Knopf geht, die Blättchen aber unelektrisch werden. Nähert man einen gleichnamig elektrischen Körper, so stößt dieser die Elektricität im Knopfe ab und treibt sie in die Blättchen hinunter, die Blättchen werden stärker elektrisch als zuvor, sie stoßen sich deshalb kräftiger ab, ihre Divergenz wird größer, Fig. 309 E und F.

[61] Genau genommen gehen die Blättchen bei Annäherung eines unelektrischen Körpers ein wenig zusammen, diese Bewegung ist aber so gering, daß man sie mit den in anderen Fällen eintretenden starken Bewegungen nicht verwechseln kann.

Es ist nicht zweckmäßig, das Elektroskop anders, als durch Vertheilung, etwa durch Berühren mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange zu laden, weil man dabei leicht zuviel Elektricität zuführt, was mancherlei Störungen veranlassen und sogar die Blättchen zerreißen kann. Auch die Ladung durch Influenz mache man nicht zu stark; man nähere den influenzirenden Körper nur soweit, daß er vor der Berührung des Metallstäbchens mit dem Finger keine größere Divergenz bewirkt, als sie in Fig. 308 dargestellt ist.

Das einmal geladene Elektroskop kann man in trockener Luft 1 bis 2 Stunden lang benutzen, ohne es neu laden zu müssen. Will man einen Körper prüfen, so nähere man ihn langsam dem Elektroskop und beobachte von Anfang an das Verhalten der Blättchen; ist der Körper gleichnamig elektrisch, so gehen sie sofort auseinander, ist er entgegengesetzt elektrisch, so gehen sie anfangs jedenfalls zusammen. Wenn der Körper stark entgegengesetzt elektrisch ist und ziemlich nahe gebracht wird, so können die zuerst zusammengefallenen Blättchen wieder auseinander gehen und so eine Täuschung verursachen, zumal, wenn man den Körper sehr schnell nähert, so daß das Zusammenfallen nicht völlig stattfindet. Der Grund des Wiederauseinandergehens bei starker Annäherung des entgegengesetzt elektrischen Körpers liegt darin, daß bei dem vorhergegangenen Laden immer nur ein sehr kleiner Theil der in dem Elektroskop enthaltenen Elektricitäten getrennt worden, ein weit größerer Theil aber noch in gegenseitiger Verbindung da ist. Hat man etwa das Instrument durch Vertheilung von einer (positiven) Glasstange negativ geladen, so heißt das eigentlich, man hat von den ursprünglich in gleicher Menge vorhandenen Elektricitäten einen kleinen Theil positive Influenzelektricität entfernt, so daß ein Ueberschuß von negativer Elektricität da ist, außerdem aber noch viel positive und negative Elektricität, die sich gegenseitig festhalten und in ihren Wirkungen aufheben, also nicht bemerkbar sind. Nähert man nun diesem Elektroskop von oben einen stark positiven Körper, so zieht er zunächst die freie, negative Elektricität nach dem Knopfe; bei einer bestimmten Entfernung des positiven Körpers wird alle freie, negative Elektricität nach dem Knopfe gegangen sein, die Blättchen erscheinen unelektrisch und hängen glatt herunter. Bringt man nun den positiven Körper noch näher, so bewirkt er eine weitere Vertheilung der bis jetzt noch verbundenen Elektricitäten; er zieht noch mehr negative Elektricität nach dem Knopf und treibt positive nach den Blättchen, so daß diese wieder auseinandergehen. Die nämlichen Erscheinungen wird natürlich ein stark negativer Körper beim Annähern an ein positiv geladenes Elektroskop hervorrufen.

Unter Zuhülfenahme eines Goldblattelektroskops kann man leicht zeigen, daß zwei aneinandergeriebene Körper entgegengesetzt elektrisch werden. Eine runde Siegellackstange von etwa 12 bis 15^{mm} Dicke und 15 bis 18^{cm} Länge, wie man sie an den meisten Orten im Handel bekommt oder die man aus durch Erwärmen weich gemachtem Siegellack durch Rollen auf einer Blechunterlage formt, schiebt man mit einem Ende in eine gut darauf passende Hülse aus sämischgarem Leder (Waschleder) von 6 bis 8^{cm} Länge, die an einem Ende verschlossen und mit 2 einen Decimeter langen Faden von starker Nähseide versehen ist. Die Lederhülse umfaßt man mit der linken Hand und dreht das hervorstehende Stück der Harzstange zwischen den Fingern der Rechten; durch die bei der Drehung der Stange in der Hülse stattfindende Reibung wird das Leder positiv, das Harz negativ elektrisch. Man faßt nun den Seidenfaden am freien Ende, zieht mittelst desselben die Hülse von der Stange ab und nähert die am Faden hängende Hülse dann einem ungeladenen Elektroskop von oben, bis sie den Knopf berührt und ihm etwas von ihrer Elektricität mittheilt und so eine bleibende Divergenz der Goldblättchen bewirkt. Nähert man dem so geladenen Elektroskop die Harzstange, so fallen die Blättchen zusammen, was beweist, daß die Harzstange die Elektricität der

Blättchen anzieht, daß also die den Blättchen von dem Leder mitgetheilte Elektricität der des Harzes entgegengesetzt ist.

Nähert man nach dem Reiben die noch mit der Hülse bedeckte Siegellackstange einem Elektroskop, so zeigt sich keine Einwirkung; die auf der äußeren Fläche der Siegellackstange sitzende negative und die auf der inneren Fläche der Lederhülse befindliche positive Elektricitätsmenge sind genau gleich groß und heben sich deshalb gegenseitig in ihren Wirkungen nach außen hin vollkommen auf; erst wenn sie durch Abziehen der Hülse räumlich von einander getrennt sind, werden sie bemerkbar.

Der Elektrophor ist eine Vorrichtung, welche dient, um mittelst der Vertheilung auf einfache Weise etwas größere Mengen von Elektricität zu erhalten. Auf einer leitenden Unterlage, der sogenannten Form f, Fig. 310 A liegt eine runde Platte von einem durch Reiben leicht zu elektrisirenden Stoff, gewöhnlich von Harzmasse oder auch von Horngummi, der sogenannte Kuchen k und auf diesen kommt ein gutleitender (metallener) Deckel d, der mit drei oben zusammengeknüpften, seidenen Schnüren versehen ist, um ihn im isolirten Zustande aufheben zu können. Der auf der Form liegende Kuchen wird elektrisch gemacht, indem man ihn mit einem Stück Pelzwerk — einem Fuchsschwanz oder einem Katzenfell — in schräger Richtung peitscht. Legt man nun den Deckel auf den Kuchen und berührt ersteren mit dem Finger, so springt aus ihm ein Fünkchen hervor; hebt man jetzt den Deckel an den Seidenschnüren in die Höhe, so erscheint er stark mit Elektricität geladen und giebt bei Annäherung eines leitenden Körpers einen kräftigen Funken. Nach wiederholtem Niederlassen, Berühren und Wiederaufheben erscheint der Deckel immer von neuem elektrisch, ohne daß man dazwischen den Kuchen neu zu reiben braucht.

Fig. 310.

A a. P. 1/3 nat. Gr., B nat. Gr., C a. P. nat. Gr.

Um die Vorgänge am Elektrophor genau zu verfolgen, benutzt man ein Elektroskop und ein sogenanntes Probekügelchen, d. i. ein an einem isolirenden Stiele befestigtes Kügelchen aus einem leitenden Stoffe; faßt man mit den Fingern den Stiel und berührt mit dem Kügelchen einen elektrischen Körper, so geht von der Elektricität des letzteren ein wenig auf das Kügelchen über und kann am Elektroskop untersucht werden, ohne den zu prüfenden Körper selbst dem Elektroskop nähern zu müssen.

Man peitscht den Kuchen, hebt ihn auf, kehrt ihn um, so daß die geriebene Seite abwärts kommt und hält ihn so über das mit einer bekannten Elektricität geladene Elektroskop; die Bewegung der Blättchen wird anzeigen, daß der Kuchen negativ elektrisch ist. Man bringt nun den Kuchen wieder

an seine Stelle [62] und legt den unelektrischen Deckel auf, indem man ihn an den Schnüren hält und zunächst vermeidet, ihn zu berühren. Hebt man den Deckel sofort an den Schnüren wieder auf und hält ihn über das Elektroskop, so erweist er sich als unelektrisch, zum Beweis, daß ihm der Kuchen bei der Berührung keine merkliche Menge Elektricität mittheilt. Hat man aber den Deckel, während er auf dem Kuchen liegt, einen Augenblick ableitend berührt, so zeigt er nach dem Aufheben starke positive Elektricität, wenn man ihn dem Elektroskop nur einigermaaßen nähert.

Die in dem unelektrischen Deckel verbundenen Elektricitäten erleiden eine Vertheilung, wenn man diesen auf den negativen Kuchen legt; die positive Elektricität wird nach der unteren Seite des Deckels gezogen und da festgehalten, die negative wird frei gemacht und nach der oberen Seite des Deckels getrieben. Daß sich da freie negative Elektricität findet, erkennt man, wenn man den Deckel (vor der Berührung mit dem Finger) mit dem Probekügelchen berührt und dieses an's Elektroskop bringt. Hat man die freie, negative Influenzelektricität zweiter Art abgeleitet, so daß im Deckel nur die durch die Anziehung des Kuchens gebundene positive Elektricität bleibt und entfernt man den Deckel von dem Kuchen, so daß letzterer nicht mehr anziehend wirken kann, so wird die positive Elektricität des Deckels frei und springt als Funke nach einem genäherten, leitenden Körper über.

Beim Wiederaufheben des Deckels ohne vorhergegangene Ableitung der negativen Elektricität vereinigen sich die beiden Influenzelektricitäten, der Deckel erscheint unelektrisch.

Form und Deckel des Elektrophors läßt man vom Klempner machen, die Form aus Weißblech, den Deckel aus Zink-, Messing- oder Weißblech. Die Form ist ein flaches, rundes Gefäß, 20^{cm} im Durchmesser und $1^{cm},5$ hoch; der Deckel eine runde Blechscheibe von 16^{cm} Durchmesser, deren Rand wulstartig um einen starken Draht umgelegt ist, wie Fig. 310 B im Durchschnitt zeigt. Es muß möglichste Sorgfalt darauf verwendet werden, den Deckel recht eben und seinen Rand recht schön rund und glatt zu machen. An drei Stellen, die vom Rande 2^{cm} und unter sich gleich weit abstehen, werden kleine Oesen aus 1^{mm} starkem Messingdraht aufgelöthet, deren Form Fig. 310 C zeigt. In jede Oese knüpft man ein Ende einer 15^{cm} langen, dünnen Seidenschnur, die andern drei Enden der Schnuren knüpft man durch einen gemeinschaftlichen Knoten zusammen. Die Schnuren müssen aus reiner Seide bestehen, enthalten sie Baumwolle, so isoliren sie nicht ordentlich. Kann man keine rein seidenen Schnuren haben, so nimmt man anstatt derselben doppelte oder vierfache Fäden von starker Nähseide. Man kann auch die Oesen und Schnuren ganz weglassen und den Deckel mit einem isolirenden Griff versehen, indem man ihn erwärmt und eine Siegellackstange darauf drückt; ein solcher Siegellackgriff ist noch bequemer, als die Schnuren, aber etwas zerbrechlich.

Der Harzkuchen wird nicht in die Form wirklich hineingegossen, sondern auf dieselbe. Man legt sie mit der Oeffnung nach unten auf einen gut wagrecht stehenden Tisch und umgiebt sie mit einem Rande von Papier. Einige 3^{cm} breite Streifen von starkem Schreibpapier klebt man so aneinander, daß man einen 70 bis 80^{cm} langen Streifen erhält, der reichlich zweimal um die Form herumgeht. Man legt ihn straff um den Rand der Form herum, sodaß er $1^{cm},5$ über den nach oben gekehrten Boden der Form vorragt und klebt das äußerste Ende mit Gummi fest. Einen irdenen Napf, der 1 Liter Wasser zu fassen im Stande ist, setzt man gleich beim Anheizen in einen

[62] Wenn der Kuchen von der Form abgehoben wird, verliert er leicht einen Theil seiner Elektricität, man peitscht ihn deshalb vor dem wirklichen Gebrauch des Elektrophors noch einmal. Die Form hat den Zweck, einen Elektricitätsverlust des Kuchens zu verhüten; auf welche Weise sie diesen Zweck erfüllt, kann hier nicht wol erläutert werden.

Ofen (weil er beim raschen Erwärmen leicht springt) und bringt 40grm gelbes Wachs und 40grm Terpentin hinein.[63] Man rührt mit einem Spahn um und sobald alles Wachs geschmolzen ist, fängt man an 400grm Schellack in kleinen Portionen zuzusetzen. Das (ungebleichte) Schellack bildet dünne Blättchen, von denen man höchstens eine Handvoll auf einmal zusetzt. Das Rühren muß während der ganzen Schmelzarbeit fleißig und ununterbrochen fortgesetzt werden, damit die Klümpchen, welche sich beim jedesmaligen Schmelzen bilden, schnell zergehen. Erst wenn dies geschehen ist, darf man neues Schellack zusetzen; man warte aber auch nicht unnöthig länger, damit die Masse nicht zu warm wird, weil sich bei zu starkem Erwärmen das Ganze in eine steife Masse verwandelt, die in ihrer Beschaffenheit an Kautschuck oder halberkalteten Leim erinnert und nicht wieder flüssig zu machen, also auch nicht mehr zu gebrauchen ist. Sobald alles Schellack zugesetzt ist, nimmt man das Gefäß aus dem Ofen, rührt die Masse noch kräftig um, bis sie ganz gleichmäßig ist und man nichts von dem dünnflüssigen Wachs mehr an der Oberfläche bemerkt; dann gießt man die Masse in die durch den Papierrand gebildete Form. Nach einigen Stunden, wenn der gegossene Kuchen kalt geworden ist, reißt man zunächst den Papierrand soweit, als es geht, ab und nimmt dann den Kuchen von der Form ab; sollte er noch daran festhängen, so hilft man etwas nach, indem man leise auf die innere Seite der Form drückt, um das Blech ein wenig zu biegen und dadurch von dem starren Kuchen abzulösen. Alle Vorsicht wende man auf, denselben nicht fallen zu lassen; er ist ziemlich spröde und darum zerbrechlich. Das am Rande des Kuchens hängen gebliebene Papier entfernt man durch Naßmachen und Reiben mit dem Finger; es schadet auch nichts, wenn etwas davon daran hängen bleibt. Beim Gebrauche kommt die Form in dieselbe Lage, wie beim Guß, d. h. mit dem Boden nach oben; auf diesen legt man den Kuchen umgekehrt, wie er beim Guß gelegen hat, so daß die ursprünglich am Blech anliegende, glatte Seite oben ist.

Früher benutzte man die Form mit nach oben gekehrter Oeffnung und goß den Kuchen in die Höhlung derselben wirklich hinein (daher auch der Name Form); das ist aber sehr unpraktisch, weil ein fest eingegossener Kuchen immer nach einiger Zeit zerspringt, während ein lose aufliegender sich bei vorsichtiger Behandlung unbegrenzt lange hält. Sollte man denselben ja zerbrechen, so gießt man ihn um, indem man ihn erst in kleine Stücke schlägt und diese wieder in dem irdenen Napf unter fortwährendem Umrühren schmilzt. Es ist gut, den Napf gleich für diesen Zweck aufzuheben, da man ihn doch nur schwer reinigen kann, um ihn für andere Zwecke wieder zu benutzen.

Um gut electrisch zu werden, muß der Kuchen trocken, womöglich auch etwas warm (aber nicht bis zum Weichwerden) gemacht werden. Man stellt ihn deshalb am besten unter einen Ofen, im Winter aber erst, nachdem er einige Zeit in einem geheizten Zimmer gestanden hat; ist er sehr kalt, so kann er bei zu schneller Erwärmung springen.

Beim Peitschen soll der Kuchen auf der Form liegen; damit er sich nicht herunterschiebt, hält man ein Paar Finger der Linken an seinen Rand, während man mit der Rechten schlägt. Einen Fuchsschwanz faßt man am dicken Ende und führt ihn mit ganz schrägen Schlägen über den Kuchen; ein Katzenfell nimmt man mit den Zipfeln so in die Hand, daß die haarige Seite außen kommt und gebraucht es ähnlich. Es kommt nicht darauf an, stark auf den Kuchen aufzuschlagen, sondern das Pelzwerk recht schnell über seine Oberfläche gleiten zu lassen.

In trockener Luft hält sich der Elektrophor, wenn der Deckel darauf liegt, Tage, selbst Wochen lang elektrisch; um eine recht kräftige Wirkung zu erhalten, empfiehlt es sich aber, ihn vor jedem Gebrauche neu zu peitschen.

Bei der Aufbewahrung lege man den Kuchen so auf die Form, daß er nirgends über den Rand vorsteht; in der Sommerwärme biegen sich solche vorstehende Theile

---

[63] Terpentin, nicht zu verwechseln mit Terpentinöl, ist ein dünnflüssiger, harziger Brei, es giebt eine ordinäre Sorte und eine feinere, den sogenannten venetianischen Terpentin; ersterer ist für unseren Zweck genügend.

ganz allmählig abwärts, obgleich der Kuchen nicht merklich weich wird. Auch lasse man im Sommer den Deckel nicht auf dem Kuchen liegen, weil er sich leicht ein wenig in denselben hineindrückt.

Elektrophorkuchen von Horngummi haben den Vortheil, daß sie nicht zerbrechlich sind. Mit der Zeit verliert ihre Oberfläche leicht die Fähigkeit gut elektrisch zu werden; sie lassen sich aber durch Abschaben wieder brauchbar machen. Vor dem Peitschen reibt man sie unter kräftigem Druck mit einem wollenen Tuch bis zum Warmwerden.

Das Fünkchen, welches man aus dem auf den Kuchen gelegten Deckel erhält, bringt eine ziemlich fühlbare Empfindung hervor, wenn man einen Finger an die Form legt und nun einen anderen Finger derselben oder der anderen Hand dem Deckel nähert. Um aus dem aufgehobenen Deckel kräftige Funken zu erhalten, stelle man sich so, daß man mit den Kleidern dem Deckel nicht zu nahe kommt, man halte insbesondere den Elbogen höher oder ebensohoch, als das Handgelenk und die Hand selbst abwärts — rauhe und mit feinen Spitzen oder Fasern versehene Körper schwächen nämlich, wie später zu betrachten, die Elektricität elektrischer Körper; man bringe also auch möglichst wenig andere Körper in die Nähe des Elektrophors.

Bei Annäherung rauher Körper (z. B. der Fingerknöchel, einer Feile, eines Holzstückchens), zumal wenn diese Annäherung langsam stattfindet, erhält man aus dem aufgehobenen Elektrophordeckel mehrere einzelne, zuweilen kaum sichtbare und kaum hörbare Fünkchen; um recht helle und laute Funken zu erhalten muß man einen möglichst abgerundeten, metallischen Leiter benutzen; der runde Griff einer großen Scheere ist ziemlich brauchbar, besser noch ist eine an das Ende eines starken Drahtes gelöthete Messingkugel, wie sie als Probekugel benutzt wird.

Aus dem Rande des Elektrophordeckels erhält man etwas längere, aber weniger laute und helle Funken, als aus der flachen (oberen oder unteren) Seite desselben; ein Elektrophor von der angenommenen Größe muß bei trockenem Wetter 2^{cm} lange Funken geben.

Fig. 311.

nat. Gr.

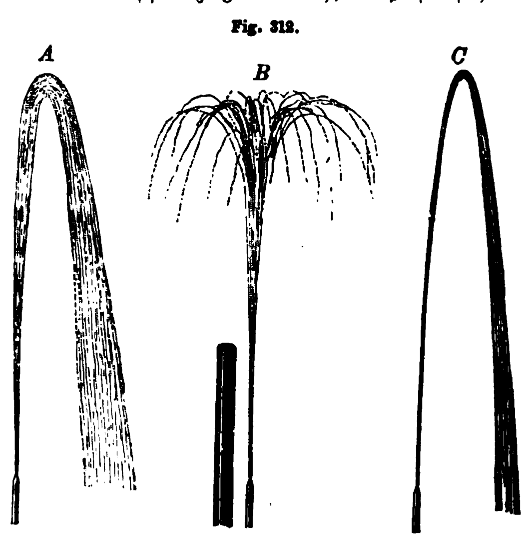
Als Probekugel kann allenfalls eine Glas- oder Marmorkugel (Schneller, Märbel) von 1 bis $1^{cm},5$ Durchmesser dienen, die man nach dem Ankitten an ein isolirendes Stäbchen mit einem gutleitenden Ueberzug versieht, indem man sie wie eine Wallnuß mit etwas Gummi und unechtem oder besser noch echtem Blattgold überzieht. Letzteres legt sich besser an und giebt so eine glattere Oberfläche, als ersteres. Für viele elektrische Versuche kann man anstatt metallner Kugeln die nahezu kugelförmigen Metallknöpfe benutzen, die mit eingelötheten Schrauben versehen zum Anschrauben als Füße an hölzerne Kästchen u. dgl. bestimmt sind; man erhält in Kurzwaarenhandlungen derartige Knöpfe von 6 bis 25^{mm} Durchmesser; Fig. 311 zeigt den Durchschnitt eines solchen. Durch Abreiben mit einem in Weingeist getauchten Läppchen entfernt man zunächst den Lack, mit dem der Knopf überzogen ist und hält diesen dann mittelst der Tiegelzange so lange in die Flamme der Weingeistlampe oder eines Bunsen'schen Brenners, bis das Loth im Innern schmilzt und die Schraube herausfällt. Beim Erhitzen läuft das Messing an; es wird später mit Floursmirgel oder besser noch mit Kreide wieder blank geputzt.

Als Stiel dient ein Stäbchen von 4 bis 8^{mm} Dicke und 8 bis 10^{cm} Länge, das man aus erweichtem Siegellack oder Schellack zwischen den Fingern rollt; beim Gießen eines Elektrophorkuchens kann man mit dem zum Umrühren benutzten Spahn leicht soviel Masse aus dem ausgegossenen Schmelzgefäß herauskratzen, daß sich ein solches Stäbchen daraus formen läßt; die Elektrophormasse ist weniger spröde und zerbrechlich, als reines Schellack. Das Stäbchen befestigt man in der Kugel, indem man diese so weit erwärmt, daß das durch die Oeffnung eingeschobene Stäbchen innen ausschmilzt.

Anstatt einer Probekugel kann man auch ein metallnes Probescheibchen benutzen, an das man das isolirende Stäbchen befestigt. Man feilt entweder den Rand eines rundgeschnittenen Messingblechstückchens von 15^{mm} Durchmesser recht schön glatt und rundlich oder nimmt noch einfacher als Scheibchen eine recht glatt abgegriffene, kleine Kupfermünze.

Eine recht hübsche Erscheinung ruft die elektrische Vertheilung hervor in einem springenden Wasserstrahl. Man stellt sich einen kleinen Springbrunnen, Fig. 141, 170 oder 175 her und nähert einen durch Reiben ziemlich kräftig elektrisch gemachten Glas- oder Siegellackstab bis auf einige Centimeter dem dicht über der Ausflußöffnung befindlichen, klaren und zusammenhängenden Theile des Strahles. Im gewöhnlichen Zustande ist der Strahl über dem klaren Theile noch auf eine ziemliche Länge zwar trübe, aber scheinbar zusammenhängend (in Wirklichkeit besteht der trübe Theil aus vielen, dicht hintereinander herlaufenden Tropfen) und löst sich erst in seinem oberen Theile in auseinandergehende Tropfen auf, Fig. 312 A; bei der Annäherung des elektrischen Körpers findet die Zertheilung dicht über dem klaren Theile statt und die Tropfen gehen in weitem Bogen nach allen Richtungen auseinander, Fig. 312 B. Das Verhalten der Tropfen zeigt deutlich, daß sie sich abstoßen und also untereinander gleichartig elektrisch sind. Fängt man eine Anzahl dieser Tropfen auf einer Probekugel oder auch auf einem größeren, runden Blechscheibchen (von 5 bis 10^{cm} Durchmesser), das an eine Siegellackstange gekittet ist, auf und nähert (nöthigenfalls bis zur Berührung) die Kugel oder Scheibe dem Knopf eines mit einer bekannten Elektricität geladenen Goldblattelektroskops, so zeigt sich, daß die Tropfen die entgegengesetzte Elektricität von der des geriebenen Körpers besitzen; bei Anwendung einer Siegellackstange sind sie positiv; bei Anwendung einer Glasstange negativ elektrisirt.

Fig. 312.



1/4 nat. Gr.

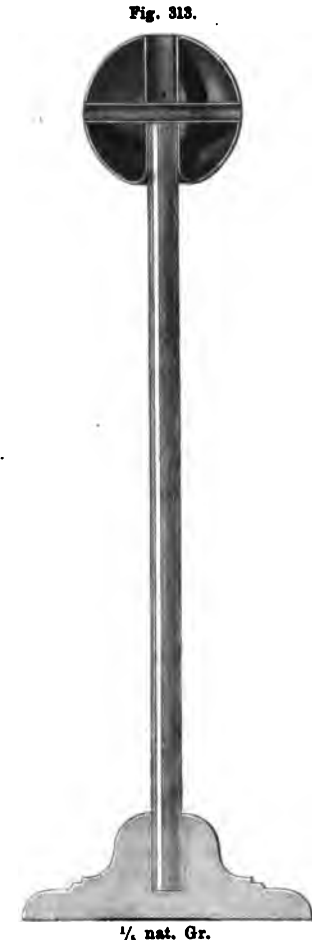
Die Elektricität des genäherten Körpers bewirkt eine Vertheilung in der leitenden Wassermasse, soweit diese ein Ganzes bildet. Die Influenzelektricität erster Art wird in das Wasser in die Nähe der Ausflußmündung gezogen, die der zweiten Art in das Gefäß des Springbrunnens getrieben; da der Springbrunnen, obgleich er aus Glas besteht, in der Regel nicht von seiner Umgebung isolirt ist, weil das Glas beim Gebrauche feucht und also an der Oberfläche leitend wird, so ist diese Influenzelektricität der zweiten Art nicht ganz so leicht nachzuweisen, wie die der ersten Art in den Wassertropfen, die von dem durchsichtigen Theile des Strahles abreißen und ihre Elektricität mit sich führen.

Wenn man den ganzen Springbrunnen isolirt, so daß die Influenzelektricität zweiter Art nicht entweichen kann, so ladet sich die Wassermasse allmählig mit der zweiten Influenzelektricität und der Versuch gelingt dann weniger leicht, als solange das Wasser unelektrisch ist; es ist deshalb gut, aus dem Gefäß des Springbrunnens

einen Draht nach dem Tisch oder den Dielen zu führen, um sicher zu sein, daß keine Isolation stattfindet.

Ist der geriebene Körper nur sehr schwach elektrisch oder nähert man ihn der Ausflußmündung nur bis auf einige Decimeter, so tritt eine andere Erscheinung ein, deren Erklärung hier freilich nicht möglich ist: die Tropfen gehen nicht auseinander, sondern laufen viel genauer in einer Richtung hintereinander her, als es bei dem gewöhnlichen Strahle geschieht, so daß es den Eindruck macht, als sei der Strahl selbst noch in seinem niederfallenden Theile zusammenhängend, Fig. 312 C. Diese Erscheinung ist besonders überraschend, weil man nur eine Spur Elektricität braucht, um sie hervorzurufen; es genügt, ein 2^{cm} großes Stückchen Siegellack ein einziges Mal über den Rockärmel zu streichen und der Ausflußmündung zu nähern; eine stark geriebene Glasstange bringt noch bei 1^{m} Entfernung das Zusammengehen des Strahles mit Leichtigkeit hervor.

Fig. 313.



¼ nat. Gr.

Zweckmäßig richtet man bei diesen Versuchen die Ausflußmündung ein klein wenig schräg, damit die zurückfallenden Tropfen den aufsteigenden Strahl nicht stören.

46. Anordnung der Elektricität auf Leitern, Spitzenwirkung, Elektrisirmaschine. Ein isolirter, kugelförmiger Conductor aus Messingblech, ist, wie aus der Durchschnittfigur 313 zu erkennen, mit einer horizontal durchgehenden und einer von oben bis auf die Mitte hereinragenden offenen Röhre versehen und mit seinem unteren Theile auf einen Glasstab aufgesteckt, der von einem Holzfuße getragen wird.

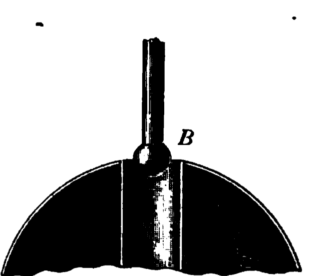
Man ladet denselben mit Elektricität, indem man den durch Reiben elektrisirten Glasstab mit dem oberen Ende an die Kugel anlegt und dann längs derselben hinfährt, aber so, daß man zuletzt mit der Hand der Kugel nicht zu nahe kommt, um sie nicht wieder zu entladen. Wenn der Glasstab gut elektrisch wird, so braucht man ihn nur ein Mal an der Kugel hinzuführen, ist er schwach elektrisch, so wiederholt man das Verfahren zwei oder drei Mal, indem man ihn jedesmal von Neuem reibt.

Die geladene Kugel berühre man an irgend einer Stelle ihrer Oberfläche mit dem Probekügelchen oder Probescheibchen, bringe dieses dann an das Goldblattelektroskop und beobachte, wie stark die Goldblättchen divergiren. Dann entlade man das Elektroskop durch Berühren mit dem Finger, lege das Probekügelchen oder Probescheibchen an eine andere Stelle der Kugel und bringe es wieder an das Elektroskop: man wird finden, daß die Blättchen genau eben so stark divergiren, wie vorher, daß also die Kugel an beiden Stellen gleich stark elektrisch ist. Untersucht man die Kugel an allen möglichen Punkten ihrer Oberfläche, so zeigt sich, daß die Elektricität ganz gleichmäßig

auf ihr vertheilt ist. (Wiederholt man die Prüfung sehr oft hintereinander, so findet man, daß die Divergenz der Goldblättchen nach und nach etwas kleiner wird, weil man jedesmal der Kugel etwas Elektricität durch das Probescheibchen entzieht und weil sie auch allmählig etwas Electricität von selbst verliert.)

Nun berühre man mit dem Probekügelchen die innere Wandung des oben offenen Rohres, wie Fig. 314 A andeutet. Man muß sich auch dabei wieder vorsehen, daß man die Kugel nicht mit der Hand berührt und muß das Probekügelchen so aus dem Rohre herausziehen, daß es dem Rande der Oeffnung nicht zu nahe kommt (Fig. 314 B). Bringt man jetzt das Probekügelchen an das (vorher entladene) Elektroskop, so zeigt sich keine Spur Elektricität, die Kugel ist also im Inneren unelektrisch. Um sich zu überzeugen, daß dies nicht etwa daran liegt, daß man der Kugel nur außen Elektricität mitgetheilt hat, berühre man die Kugel erst außen mit dem Probekügelchen, damit dieses elektrisch wird, bringe es dann durch die Oeffnung in das Innere der Kugel, berühre die Wandung des Rohres damit und ziehe es wieder heraus; auch jetzt zeigt es sich bei der Prüfung am Elektroskop unelektrisch; die Elektricität, welche das Probekügelchen bei der äußerlichen Berührung der Kugel aufgenommen hatte, geht bei der Berührung im Inneren sofort wieder durch die leitende Rohrwandung auf die Oberfläche der Kugel.

Fig. 314.



⅔ nat. Gr.

In isolirten, leitenden Körpern befindet sich also die Elektricität immer nur auf der Oberfläche. Es kann dies nicht Wunder nehmen, da wir schon wissen, daß gleiche Elektricitäten, also auch die einzelnen Theile ein und derselben Elektricität sich abstoßen. Die Elektricitätstheilchen haben das Bestreben, sich möglichst weit von einander zu entfernen, dadurch werden sie aus dem Inneren eines leitenden Körpers nach den äußersten Punkten, also nach der Oberfläche getrieben. Dieses aus der Abstoßung ihrer einzelnen Theile hervorgehende Bestreben der Elektricität, sich auszubreiten, nennt man ihre Spannung.



Auf einer Kugel, welche nach allen Richtungen hin gleich gestaltet ist, breitet sich die Elektricität gleichmäßig aus, es findet sich also an allen Punkten der Oberfläche gleiche Spannung. Anders bei leitenden Körpern, die weniger regelmäßig gestaltet sind. Man stellt sich einen länglichen Leiter her, indem man einen 3^{mm} dicken, 40^{cm} langen, einerseits mit einer Spitze, andererseits mit einem Ringe von 2^{cm} Durchmesser versehenen Messingdraht so in das horizontal durch die Conductorkugel gehende Rohr schiebt, daß die Spitze des Drahtes noch im Innern der Kugel bleibt. Da der Draht einen viel kleineren Durchmesser hat, als das Rohr, so schiebt man auf den Draht zwei kleine Korke, welche so durchbohrt sind, daß sie mäßig streng auf den

Draht passen und außen so zurechtgeschnitten, daß sie ganz leicht durch das Rohr hindurchgehen.

Ladet man die mit dem Drahte versehene Vorrichtung in ganz ähnlicher Weise wie vorhin mittelst eines geriebenen Glasstabes und untersucht dann nach einander die Kugel und den Drahtring, so zeigt sich letzterer stärker elektrisch, als erstere; das mit dem Ringe in Berührung gewesene Probekügelchen bewirkt eine stärkere Divergenz der Goldblättchen, als es bewirkt, wenn es in Berührung mit der Kugel gewesen ist.

Die gesammte Menge Elektricität, welche auf der Kugel sich befindet, ist bedeutend größer, als die auf dem kleinen Drahtringe befindliche, sie hat aber mehr Raum, um sich auszubreiten und ist deshalb nicht sehr zusammengedrängt; die kleine Electricitätsmenge auf dem Drahte wird von der großen Menge der Kugel stark abgestoßen, kräftig nach dem mit dem Ringe versehenen Ende getrieben und auf dem Ringe dicht zusammengedrängt. Je dichter aber die einzelnen Elektricitätstheilchen zusammengedrängt sind, um so mehr müssen sie sich unter einander abstoßen, um so stärker ist ihr Bestreben, sich auszubreiten: ihre Spannung; deshalb geht auch bei der Berührung mit dem Probekügelchen von dem kleinen Ringe auf dieses mehr Elektricität über, als von der großen Kugel.

Auf länglich gestalteten, leitenden Körpern wird im Allgemeinen die Elektricität durch ihre Abstoßung vorzugsweise nach den Enden getrieben und zeigt da die stärkste Spannung; ist, wie bei dem eben besprochenen Versuche das eine Ende eines länglichen Leiters (der Ring) dünner, als das andere Ende (die Kugel), so ist die Spannung auf dem dünnen Ende größer, als auf dem dicken. Je größer der Unterschied in der Dicke der Enden ist, um so größer wird auch der Unterschied in der Spannung; die größte Spannung erhält man, wenn man ein Ende des Körpers geradezu in eine Spitze auslaufen läßt.

Man schiebe die beiden Korke auf dem Messingdraht mehr nach dem mit dem Ringe versehenen Theile und stecke den Draht so in das wagrecht durch die Kugel gehende Rohr, daß der Ring an der Kugel anliegt. Das Goldblattelektroskop stellt man auf eine Unterlage so, daß sich die Kugel desselben in einer Entfernung von 30^{cm} vor der Spitze befindet und ladet dann den Conductor möglichst stark, indem man wiederholt mit dem geriebenen Glasstabe an der Kugel hinfährt. Die Blättchen des Elektroskops divergiren; entladet man nach kurzer Zeit den Conductor durch Berühren mit der Hand, so wird die Divergenz etwas kleiner, aber die Blättchen fallen nicht ganz zusammen; das Elektroskop erscheint mit Elektricität geladen, die also von der Spitze auf dasselbe übergegangen sein muß. Stellt man das wieder entladene Elektroskop so auf, daß sich sein Knopf 4^{cm} seitlich von der Kugel, anstatt vor der Spitze des Drahtes, befindet und ladet den Conductor eben so stark, wie vorher, so gehen die Goldblättchen auch auseinander, sie fallen aber sofort wieder ganz zusammen, wenn man den Conductor entladet. Die auf der Kugel befindliche Elektricität hat also nur eine Vertheilung in dem Elektroskop bewirkt, wie es jeder genäherte elektrische Körper thut, ist aber nicht auf dasselbe übergegangen.

Die auf dem sehr kleinen Raume der Spitze stark zusammengedrängte Elektricität stößt sich so stark ab, daß sie selbst durch nichtleitende Körper, wie die umgebende Luft ist, hindurch fortgetrieben wird, man sagt: sie wird von der Spitze ausgestrahlt. Diese Strahlung geht allmählich vor sich;

nähert man den Finger oder einen anderen gutleitenden Körper ganz langsam der Spitze bis zur schließlichen Berührung, so geht alle Elektricität von dem Conductor nach und nach geräuschlos fort; nähert man den Finger der Kugel des geladenen Conductors, so geht Elektricität von dieser erst fort, wenn man bis auf ziemlich kleine Entfernung herangekommen ist, dann aber geht der größte Theil der überhaupt vorhandenen Elektricität mit einem Male in Form eines hörbaren, sichtbaren und selbst etwas fühlbaren Funkens nach dem Finger über.

Eine Spitzenausstrahlung findet auch statt, wenn die Spitze sich an einem unelektrischen Körper befindet und man ihr einen elektrischen nähert. Man bringt auf einem Goldblattelektroskop eine Nadel — am besten eine feine Nähnadel — mittelst eines Korkes an, in den man sie mit dem Oehr so einsetzt, daß die Spitze nach oben gerichtet ist. Trägt das Elektroskop eine Platte, so stellt man den Kork einfach darauf, trägt es einen Knopf, so bohrt man mit dem Korkbohrer ein Loch von gleichem Durchmesser wie der Knopf etwa 1^{cm} tief von unten in den Kork und steckt den Knopf in dieses Loch hinein. Einen elektrischen Körper — den geriebenen Glasstab — hält man etwa 20^{cm} über das so vorgerichtete Elektroskop. Es entsteht zunächst eine Vertheilung ganz in derselben Weise, wie bei der Annäherung des Glasstabes an ein Elektroskop ohne Spitze; die (negative) Influenzelektricität erster Art wird nach der Spitze gezogen, die (positive) zweiter Art nach den Blättchen getrieben und diese gehen auseinander. Entfernt man aber nach einer kleinen Weile den elektrischen Stab, ohne vorher das Elektroskop ableitend berührt zu haben, so fallen die Blättchen nicht mehr zusammen, das Elektroskop ist geladen. Um untersuchen zu können, welche Art Elektricität es enthält, schiebt man mittelst eines isolirenden Körpers, etwa eines nicht geriebenen Glas- oder Siegellackstabes den Kork mit der Nadel von dem Instrumente herunter, damit, wenn man jetzt einen elektrischen Körper nähert, nicht auch eine Spitzenwirkung stattfindet. Nähert man jetzt wieder den zuerst benutzten, elektrischen Körper, so gehen die Blättchen weiter auseinander; die Elektricität, mit welcher sich das mit der Spitze versehene Elektroskop geladen hat, ist also gleichnamig mit der des genäherten Körpers (in unserem Falle positiv), es ist die Influenzelektricität der zweiten Art. Die Influenzelektricität der ersten Art ist durch die Spitze ausgestrahlt worden und auf den genäherten Körper übergegangen. Dieser muß dadurch schwächer elektrisch geworden sein, als er erst war; die ihm zugestrahlte Elektricität ist seiner eigenen entgegengesetzt, sie verbindet sich mit ihr und hebt sie in ihren Wirkungen auf. Daß der genäherte Körper nicht ganz unelektrisch, sondern nur etwas schwächer elektrisch wird, hat seinen Grund darin, daß die von der Spitze ausgestrahlte Elektricitätsmenge viel geringer ist, als die des elektrischen Körpers, wenn sich dieser in so bedeutender Entfernung befindet, wie bei unserem Versuche. Bringt man die Spitze und den elektrischen Körper sehr nahe zusammen, so kann dieser dadurch fast ganz unelektrisch gemacht werden. Ladet man die isolirte Conductorkugel möglichst stark durch wiederholtes Daranhinführen des geriebenen Glasstabes und nähert dann langsam die Spitze einer Nähnadel, deren Oehr man zwischen den Fingerspitzen hält, bis auf etwa 1^{mm}, so erhält man, wenn man dann den Finger an die Kugel hält, kaum noch eine Spur eines Fünkchens, während der gleich stark geladene Conductor, wenn man nicht die Nadel auf ihn einwirken läßt, dem genäherten Finger einen ziemlich kräftigen Funken giebt.

Die Spitze, in der durch Annäherung an einen elektrischen Körper eine Vertheilung erzeugt wird, strahlt die Influenzelektricität erster Art aus und schwächt dadurch die Elektricität des genäherten Körpers, während die Influenzelektricität zweiter Art in dem mit der Spitze versehenen Körper sich ansammelt, wenn dieser isolirt ist; da die Influenzelektricität zweiter Art mit der des vertheilenden Körpers gleichartig ist, so ist das schließliche Ergebniß der Spitzenwirkung so, als ob die Spitze etwas von der Elektricität des genäherten Körpers weggenommen und auf den mit ihr verbundenen Körper übertragen hätte. Es ist gebräuchlich, kurzweg zu sagen, daß eine Spitze die Elektricität eines genäherten Körpers aufsaugt; es darf aber nicht übersehen werden, daß diese scheinbare Aufsaugung einer Art von Elektricität in Wirklichkeit eine Ausstrahlung der entgegengesetzten Art ist.

Wenn die im Vorhergehenden beschriebenen Versuche ordentlich gelingen sollen, so sind einige Vorsichtsmaßregeln zu gebrauchen. Die Metallkugel muß hübsch rund und glatt sein; alle Rauhigkeiten, Ecken und Kanten wirken ähnlich, wie Spitzen; sie strahlen Elektricität aus, wenn sie an einem elektrischen Körper sind oder strahlen ihm entgegesetzte Elektricität zu, wenn sie sich in seiner Nähe befinden; in jedem Falle schwächen sie seine Elektricität und verhindern, daß er sich ordentlich laden läßt. Die untere Mündung des senkrecht durch den Conductor gehenden Rohres ist deshalb rundlich eingezogen, weil ein scharfkantiger Rand Elektricität nach dem Fuße und dem Tische ausstrahlen würde. Die Glasstange, welche den Conductor trägt, reibe man stark mit einem trockenen Tuche ab, falls sie nicht ordentlich isolirt.

Fig. 315.



a. P. 1/3 nat. Gr.

Für die ersten Versuche, bei denen es sich darum handelt, zu zeigen, daß sich auf der Kugel allein die Elektricität gleichmäßig ausbreitet, daß sie aber auf dem Ende des Drahtes stärkere Spannung hat, als auf der mit dem Drahte verbundenen Kugel und daß sie sich nur auf der Oberfläche, nicht im Innern der Kugel befindet, darf man den Conductor nur schwach laden; es genügt vollkommen, den geriebenen Glasstab einmal an demselben hinzuführen. Bei stärkerer Ladung würde die Elektricitätsmenge, die man mit der Probekugel von der Conductorkugel entnimmt, die Blättchen des Elektroskops schon so stark auseinander treiben, daß keine viel stärkere Divergenz möglich ist; man würde also nicht deutlich erkennen, daß man mit der Probekugel von dem Drahtring eine wesentlich größere Elektricitätsmenge erhält und außerdem könnte es geschehen, daß der Rand der oberen Kugelfläche der in's Innere gebrachten Probekugel beim Wiederherausziehen Elektricität zustrahlte, die man dann fälschlicherweise als aus dem Innern der Kugel stammend ansehen würde.

Für die Versuche über Spitzenwirkung lade man den Conductor stark, man fahre 5 bis 10 mal mit dem Glasstab daran hin; natürlich muß man den Stab jedesmal wieder reiben. Der Conductor soll beim Annähern des Fingers einen 1^{cm} langen Funken geben.

Will man keinen Conductor anschaffen, so lassen sich die Versuche über die Ver-

breitung der Elektricität auf der Oberfläche eines Leiters allenfalls auch anstellen mit einem sackartigen, spitzen Netz aus Mull oder Baumwollgaze, das mit seiner Oeffnung an einem Drahtring befestigt ist, Fig. 315. Der Ring, 10^{cm} weit, wird aus 2 bis 3^{mm} dickem Messingdraht gebogen und erhält einen 10^{cm} langen Stiel, dessen Ende man erwärmt und in eine Siegellackstange steckt, um ihn zu isoliren. Die Siegellackstange klemmt man beim Gebrauche in einen Retortenhalter und beschwert diesen mit einem schweren Körper oder befestigt ihn mit einer Schraubzwinge am Tische, um ihn nicht umzuwerfen. Das Netz soll 20 bis 25^{cm} lang sein; es kann etwas gestärkt werden, damit es einigermaßen steif ist. An der Spitze werden zwei Fäden von reiner Seide, je 40^{cm} lang, fest geknüpft.

Ladet man das Netz und untersucht es dann mittelst der Probekugel, so findet man im Innern gar keine Elektricität, auf der äußeren Fläche an der Spitze des Netzes mehr, als auf dem breiten Theile in der Nähe der Oeffnung. Zieht man an dem aus der Oeffnung heraushängenden Faden (natürlich ohne das Netz oder den Drahtstiel mit den Fingern zu berühren) und stülpt auf diese Weise das mit Elektricität geladene Netz um, so daß die vorher äußere Fläche zur innern wird und umgekehrt, so findet sich sofort die Elektricität wieder nur auf der Fläche, die jetzt die äußere ist.

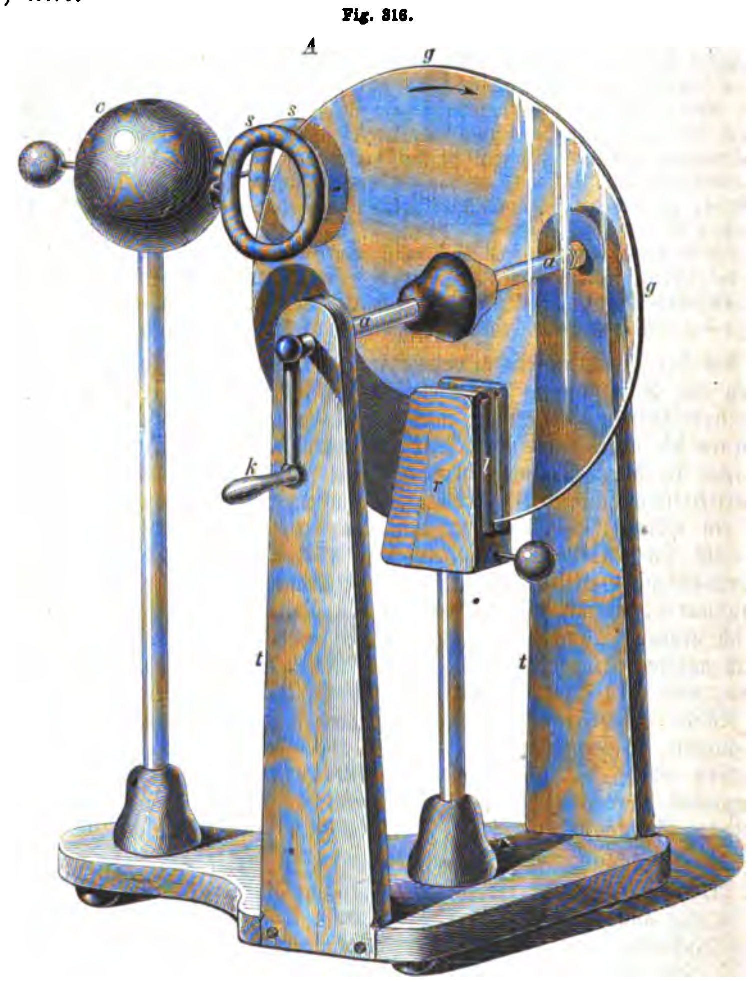
Die Versuche mit dem Netz muß man schnell hintereinander machen, weil dasselbe durch die vielen, feinen Fasern des Gewebes Elektricität ausstrahlt und deshalb nicht lange elektrisch bleibt. Soll das Netz gestärkt werden, so muß dies vor dem Anbringen der Seidenfäden geschehen, weil die Stärke diese Fäden leitend machen würde.

Auf der Spitzenwirkung beruht ganz wesentlich die zur bequemen Erregung und Ansammlung der Elektrität dienende Elektrisirmaschine. Die Elektrisirmaschinen zerfallen in zwei wesentlich verschiedene Klassen, in solche, bei denen die anzusammelnde Elektricität durch Reibung erzeugt und in solche, bei denen sie durch Influenz hervorgerufen wird; hier können nur die Reibungselektrisirmaschinen Berücksichtigung finden. Bei jeder Reibungsmaschine wird ein Körper, der Reiber, um eine Axe, an welcher er sitzt, gedreht und reibt sich dabei an einem anderen Körper, dem Reibzeug, wodurch er fortwährend elektrisch wird. Eine Zusammenstellung von Spitzen, der Saugkamm, nimmt die Elektricität des Reibers auf und theilt sie einem ziemlich großen, kurzweg Conductor genannten Metallkörper mit, in dem sie sich ansammelt. Häufig ist auch das Reibzeug mit einem Conductor verbunden, um beide Elektricitäten ansammeln zu können. Als Reiber benutzte man früher Schwefel oder Harz; gegenwärtig verwendet man hier und da Horngummi, in den allermeisten Fällen aber Glas und zwar in Form eines Cylinders oder einer Scheibe. Als Reibzeug für Schwefel, Harz oder Horngummi dient Katzenfell, als Reibzeug für Glas auf einem Kissen ausgebreitetes Amalgam.

Die Einrichtung einer Scheibenmaschine zeigt Fig. 316. Eine gläserne Axe a a (Fig. A) ist in zwei Tragsäulen t t gelagert und trägt die Scheibe g g aus starkem Glase; die Kurbel k dient, um Axe und Scheibe in der Richtung des kleinen Pfeiles zu drehen. Bei der Drehung geht die Scheibe hindurch zwischen den beiden Reibkissen, welche in dem Hohlraume des an den Ecken und Kanten abgerundeten Holzstückes r liegen. Dieses Holzstück ist auf einer kurzen Glassäule isolirt und mit einer Metallkugel versehen, aus der man bei Annäherung eines leitenden Körpers Funken von der im Reibzeug entwickelten negativen Elektricität erhalten kann. Der Conductor c ist eine hohle Messingkugel, deren Einrichtung ganz mit der von Fig. 313 übereinstimmt. Durch das wagrechte Rohr geht ein Metallstab, der einerseits eine kleine Kugel, andererseits den doppelten Saugkamm s s

trägt: zwei hölzerne, an der inneren Seite mit Spitzen besetzte, unter sich und mit der Kugel durch ein kleines, gebogenes Messingstäbchen verbundene Ringe. Um zu verhindern, daß die Glasscheibe auf dem Wege vom Reibzeug bis zu den Saugringen zuviel Elektricität verliert, sind zu beiden Seiten des Reibzeugs Flügel von Seidenzeug befestigt, welche von der Scheibe angezogen werden und sich an sie anlegen, sobald sie beim Drehen elektrisch wird.

Fig. 316.



A a. P. ⅙ nat. Gr.

Um die Einrichtung des Reibzeugs zu verdeutlichen, ist in Fig. 316 B dasselbe von der in Fig. A nach links liegenden Seite aus gesehen dargestellt. Das Holzstück ist viereckig ausgehöhlt und hat oben einen Einschnitt, durch den die Glasscheibe hindurchgeht, ohne das Holz zu berühren. Auf jeder Seite der Scheibe liegt ein Reibkissen, bestehend aus einem viereckigen Brettchen, das auf einer Seite mit einem Stück dicken, weichen Filzes beklebt ist. Auf der anderen Seite ist an jedem Brettchen eine

Feder befestigt, welche sich an die Wandung des ausgehöhlten Holzstücks anlegt und das Reibkissen mit mäßiger Kraft an die Glasscheibe andrückt. Damit die Reibkissen nicht beim Drehen der Scheibe durch die Reibung aus dem Holzstück herausgeschoben werden, sind sie mit vorspringenden Leistchen versehen, die sich gegen die Holzwände anstemmen, wenn man die Scheibe in der Richtung des Pfeiles dreht. Fig. 316 C zeigt ein einzelnes, herausgenommenes Reibkissen, l ist das vorspringende Leistchen, f die Feder. Der am Reibkissen befestigte Seidenzeugflügel ist in der Figur weggelassen. Will man die Kissen hinwegnehmen, so braucht man nur in dem Pfeile entgegengesetzter Richtung zu drehen, dann fallen sie von selbst heraus. Sollen die Reibkissen wieder in das Holzstück eingesetzt werden, so legt man sie von beiden Seiten an die Glasscheibe, drückt mit beiden Händen **zugleich** (um die Scheibe nicht durch einseitigen Druck zu zerbrechen) die Federn zusammen und schiebt so beide Kissen zugleich in die für sie bestimmte Höhlung. Der Filz des Reibkissens wird mit Amalgam, das man in einer Reibschale (**nicht** in einem Messingmörser, der dadurch verdorben wird) oder allenfalls zwischen zwei Brettchen zerkleinert hat, mit Hülfe der Finger eingerieben, bis er ziemlich gleichmäßig mit einem dünnen Ueberzuge versehen ist; erst nach sehr langem Gebrauche macht sich eine Erneuerung des Amalgams nothwendig, vor welcher man das alte Amalgam mit einem Messer abschabt.

Fig. 316 B.

B

1/2 nat. Gr.

Da die Conductorkugel der Maschine der in Fig. 313 dargestellten ganz gleich ist, so braucht man für die früher besprochenen Versuche keine solche Kugel besonders anzuschaffen, wenn man eine Elektrisirmaschine von der hier beschriebenen Einrichtung kauft. Will man jene Versuche machen, so hebt man die Conductorkugel vorsichtig von ihrer Glassäule ab und entfernt die Saugvorrichtung und die kleine Kugel. Man dreht die letztere (links herum), wodurch sie sich nebst dem an ihr festsitzenden, eine Ansatzscheibe tragenden Stäbchen von dem durch die Kugel gehenden Stäbchen losschraubt, welches die Saugringe trägt; das letztere läßt sich dann aus der Kugel herausziehen. Soll der Conductor wieder für den Gebrauch der Elektrisirmaschine hergerichtet werden, so hat man darauf zu achten, daß beim Zusammenschrauben die Saugvorrichtung sich nicht schief stellt; man giebt ihr die richtige Lage, ehe man die kleine Kugel ganz festschraubt.

Für die oben erwähnten Versuche steckt man am besten die Kugel auf eine besondere, mit Fuß versehene Glassäule; in Ermangelung einer solchen kann man sie auch auf die Säule an der Elektrisirmaschine stecken, aber nicht so, daß das horizontal hindurch gehende Rohr nach der Scheibe zu gerichtet ist, sondern so, daß es der Axe der Elektrisirmaschine parallel läuft. Damit bei diesen Versuchen die Scheibe nicht durch eine gelegentliche, unbeabsichtigte Drehung elektrisch werden und dadurch die regelmäßige Verbreitung der Elektricität auf der Conductorkugel stören kann, entfernt man am besten die Reibkissen ganz von der Maschine und zwar eine Stunde vor der Anstellung des Versuchs, damit alle auf der Scheibe erregte Elektricität erst verschwindet.

Fig. 316 C.

C

a. P. 1/2 nat. Gr.

Beim Gebrauch der Maschine müssen alle Glastheile gut isoliren, also vollkommen trocken sein. Bringt man im Winter die Maschine aus einem kalten Raume in ein geheiztes Zimmer, so beschlägt sie mit Wasser, das erst vollständig wieder verdunstet sein muß, ehe man sie gebrauchen kann. Man hüte sich, die Kurbel zu drehen, so lange die Scheibe noch feucht ist, weil dadurch die Feuchtigkeit zwischen die Reibkissen kommen würde, von wo sie nur sehr langsam wieder weg geht. Um die Maschine ordentlich trocken zu machen, kann man sie in die Nähe eines warmen Ofens stellen; ehe man sie aber wirklich in Gebrauch nimmt, stellt man sie etwas weiter vom Ofen weg, weil man beim Drehen sonst zu

sehr schwitzt und dadurch die Luft mit Feuchtigkeit erfüllt. Ueberhaupt ist es keineswegs von besonderem Vortheil, wenn die Luft, welche die Maschine umgiebt, warm ist; die Maschine wirkt am besten, wenn sie etwas wärmer ist, als die Luft, weil sie dann am wenigsten geneigt ist, Feuchtigkeit auf sich zu verdichten. In einem kalten, trockenen Raume wirkt die Maschine oft auch dann gut, wenn sie selbst kalt ist; nur muß man dann vermeiden, sie anzuhauchen. Im Allgemeinen gelingen die Versuche mit der Elektrisirmaschine, wie alle elektrischen Versuche, im Winter besser, als im Sommer, weil die Luft im Winter gewöhnlich trockener ist.

In jedem Falle ist es zweckmäßig, die Säule, welche den Conductor trägt und die Axe vor dem Gebrauche vorsichtig mit einem trockenen, wol auch etwas erwärmten Tuche abzureiben.

Das Fußbrett der Maschine wird mit einer Schraubzwinge am Tische befestigt, damit man dieselbe beim Drehen nicht verschiebt. Je weiter die Maschine von anderen Dingen entfernt ist, um so besser wirkt sie; deshalb entferne man alles, was man nicht zu dem gerade anzustellenden Versuche braucht; insbesondere bringe man rauhe, eckige Körper und brennende Kerzen nicht unnöthigerweise in die Nähe der Maschine.[64]

Beim Drehen der Kurbel wird das Reibzeug negativ, der Conductor positiv elektrisch. Der gewöhnlichen Ausdrucksweise nach nimmt die Saugvorrichtung die positive Elektricität der Scheibe auf und theilt sie dem Conductor mit; wir wissen, daß der eigentliche Vorgang der ist, daß die positive Elektricität der Scheibe in den Spitzen eine Vertheilung hervorruft, positive Elektricität nach dem Conductor treibt und negative in die Spitzen zieht, die von diesen nach der Scheibe hin ausgestrahlt wird und sich mit der da befindlichen positiven Elektricität verbindet, die Scheibe also unelektrisch macht.

Berührt man, nachdem man die Maschine ein wenig gedreht hat, mit einem Probekügelchen erst den Conductor und dann das Goldblattelektroskop (das womöglich einige Meter von der Maschine entfernt aufgestellt wird, um nicht von ihr beeinflußt zu werden), theilt also dem Elektroskop etwas von der Elektricität des Conductors mit, so gehen die Blättchen auseinander und wenn man nun dem Elektroskop einen geriebenen Glasstab nähert, so nimmt die Divergenz noch zu, zum Beweise, daß die vom Conductor geholte Elektricität der des Glasstabes gleichnamig, also positiv ist.[65] Berührt man das Reibzeug mit der Probirkugel und nähert sie dem positiv geladenen Elektroskop, so nimmt die Divergenz der Blättchen ab, die Elektricität des Reibzeugs ist also negativ.[66]

Will man aus dem Conductor bei der Annäherung eines leitenden Körpers andauernd kräftige, elektrische Funken haben, so muß man das Reibzeug durch einen Draht oder eine kleine metallne Kette in leitende Verbin-

---

[64] Offen brennende oder glimmende Körper wirken ähnlich wie Spitzen, aber noch stärker saugend; eine in einem Glascylinder brennende Lampenflamme wirkt nicht viel schädlicher, als die nichtbrennende Lampe an und für sich.

[65] Sollten die Blättchen des Elektroskops nach der Berührung mit der Probekugel zu stark divergiren, um noch ein weiteres Auseinandergehen zuzulassen, so vermindere man die Elektricität des Elektroskops etwas, indem man mit der zuvor jedesmal entladenen Probekugel das Elektroskop einige Male berührt.

[66] Man nähere die negativ geladene Probekugel dem Elektroskop langsam, um sich keiner Täuschung auszusetzen; bringt man sie gleich bis zur Berührung heran, so kann es geschehen, daß die Blättchen stärker auseinandergehen als zuvor, nämlich dann, wenn zufällig die negative Electricitätsmenge der Probekugel wesentlich größer ist, als die positive des Elektroskops, so daß letztere ganz aufgehoben und das Elektroskop negativ geladen wird.

dung mit dem Fußboden bringen. Bei einer Maschine von der in unserer Figur angenommenen Größe erhält man aus der kleinen am Conductor angebrachten Kugel 10cm lange Funken, aus der großen Conductorkugel etwa halb so lange. Daß die Funken aus der kleinen Kugel länger werden, als die aus der großen, kann nicht Wunder nehmen, da wir wissen, daß auf Hervorragungen die Elektricität immer eine größere Spannung hat, als auf den breitern Theilen eines leitenden Körpers.

Um kräftige Funken zu erhalten, nähere man dem Conductor die innere, glatte Fläche der flach ausgestreckten Hand, nicht die äußere, mit feinen Haaren besetzte Seite, weil die Haare als Spitzen wirken und die Elektricität des Conductors durch Zustrahlung negativer Influenzelektricität schwächen. Noch besser ist es, dem Conductor einen ziemlich großen, runden Metallkörper zu nähern, etwa die gewölbte Seite eines glatten Speiselöffels, dessen Stiel man in der Hand hält.

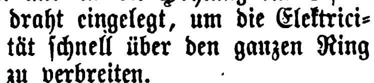
Als Ketten zur Leitung der Elektricität (z. B. zur Ableitung vom Reibzeug nach der Erde) dienen am besten lange, dichtgewundene Spiralen aus dünnem Draht mit an den Enden angelötheten, stärkeren Drahthaken; einige solche Spiralketten von verschiedener Länge werden gewöhnlich einer Elektrisirmaschine beim Verkauf beigegeben.

Will man aus dem Reibzeug Funken von negativer Elektricität haben, so hebt man die Ableitung desselben nach der Erde auf und verbindet den Conductor leitend mit der Erde. Obgleich sich im Reibzeug genau so viel negative Elektricität entwickelt, wie am Conductor positive, giebt doch das Reibzeug nicht so große Funken, als jener, weil es dem Fußbrett der Maschine ziemlich nahe ist und immer einen Theil seiner Elektricität durch Strahlung verliert.

Dreht man die Maschine längere Zeit fort, während weder der Conductor, noch das Reibzeug in leitender Verbindung mit dem Fußboden ist und zieht nur aus einem von beiden Theilen fortgesetzt Funken, so werden dieselben sehr bald schwächer, ja sie hören wol fast ganz auf. Will man fortgesetzt aus einem von beiden Theilen kräftige Funken ziehen, so muß man auch von dem anderen Theile fortwährend die Elektricität wegschaffen, was am besten durch Ableitung nach der Erde geschieht. Da auch die beim Reiben auftretende Elektricität eigentlich nicht neu erzeugt wird, sondern nur die vorher verbundenen Elektricitäten getrennt werden und da somit von der einen Elektricität genau so viel entwickelt wird, wie von der anderen, so kann keine positive Elektricität mehr auftreten, wenn das Reibzeug so stark negativ ist, daß es nicht stärker negativ werden kann und umgekehrt kann keine negative Elektricität mehr frei werden, wenn die Scheibe so stark positiv elektrisch ist, daß sie keine positive Elektricität mehr aufnehmen kann.

Da nun, wenn das Reibzeug nicht abgeleitet ist und man auch keine Elektricität in Form von Funken davon wegnimmt, es bald völlig mit negativer Elektricität geladen ist, so würde bald gar keine positive Elektricität mehr in der Scheibe entwickelt werden, wenn nicht das Reibzeug immer wieder einen Theil seiner Elektricität durch Ausstrahlung nach dem Fußbrett der Maschine verlöre. Umgekehrt wird der Conductor, wenn man ihm keine Elektricität entzieht, beim Drehen der Maschine bald so stark positiv geladen sein, daß er durch die Spitzen der Saugvorrichtung keine negative Elektricität mehr gegen die Scheibe ausstrahlt; diese wird beim Durchgang durch die Saugvorrichtung nicht mehr unelektrisch und kann dann beim Reiben keine positive Elektricität mehr aufnehmen, es kann sich also dann auch keine negative mehr entwickeln.

Nach der Größe des Conductors richtet sich die Menge Elektricität, die sich auf ihm ansammeln läßt; auf einem großen Conductor muß sich mehr Elektricität ansammeln, als auf einem kleinen, ehe die nämliche Spannung entsteht; ehe man also Funken von gleicher Länge erhält. Die Funken folgen deshalb bei einem größeren Conductor langsamer auf einander, dafür bringt aber auch jeder Funke eine größere Menge Elektricität auf einmal und ist also kräftiger, als bei kleinerem Conductor. Zur Vergrößerung des Conductors dient der sogenannte Funkenring Fig. 317, ein Ring von Holz mit einem in die obere Oeffnung der Conductorkugel passenden Stiele. Da das Holz an und für sich kein sehr guter Leiter ist, so wird der Ring aus zwei ausgehöhlten Hälften zusammengeleimt und in die Höhlung ein Eisen-



draht eingelegt, um die Elektricität schnell über den ganzen Ring zu verbreiten.

Fig. 317.



1/6 nat. Gr.

Setzt man den Ring auf den Conductor auf, so folgen die Funken bedeutend langsamer, als vorher, dafür sind sie aber beträchtlich lauter, glänzender und fühlbarer, als ohne den Ring.

Bei den Cylindermaschinen ist der Reiber ein an beiden Enden mit einer Art von Hals versehener Glascylinder; durch beide Hälse geht eine Axe, um welche der Cylinder gedreht wird. Ein einzelnes, nach der Wölbung des Cylinders ausgehöhltes Reibkissen wird von unten oder von der Seite durch Federn an den Cylinder angedrückt; der Conductor steht neben dem Cylinder, und trägt einen geraden, metallenen Saugkamm.

Die Wirkung der Cylindermaschine ist immer eine verhältnißmäßig schlechte; wollte man eine solche Maschine herstellen, so würde dieselbe immerhin etliche Thaler zu stehen kommen, weil man wenigstens den Cylinder, die Glassäule, welche den Conductor trägt und diesen selbst kaufen und das Gestell sammt Axe und Kurbel beim Tischler und Drechsler müßte machen lassen. Da man nun vor der Vollendung der Maschine nicht einmal wissen kann, ob der benutzte Cylinder beim Reiben reichlich Elektricität giebt, ob also die Maschine überhaupt brauchbar ist, man aber selbst im günstigsten Falle nur kleine Funken erhält, so thut man besser, ganz auf eine Elektrisirmaschine zu verzichten, wenn man nicht eine Scheibenmaschine von der im Vorstehenden beschriebenen Einrichtung kaufen kann, die aus gutem Material solid gebaut 15 Thaler kostet und für alle Zwecke völlig ausreicht.[67]

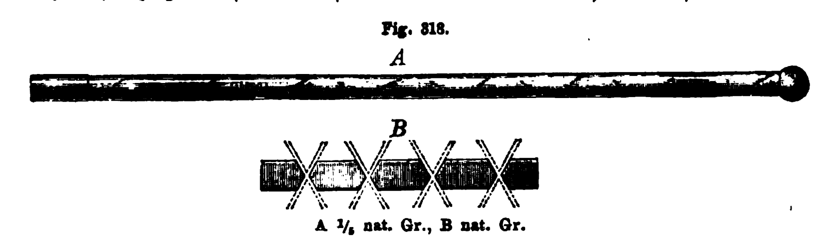
---

[67] Nur beim Laden von sehr großen Batterien (s. §. 47) würde eine größere Maschine Vortheile vor der hier beschriebenen bieten; derartige Batterien finden sich aber ohnehin wol nur in einigermaßen vollständigeren, physikalischen Apparatensammlungen und werden am besten auf ganz andere Art, nämlich mit einer Influenzmaschine (S. 371) geladen.

Die Funken, welche die Elektrisirmaschine giebt, kann man am schönsten bei Abend in einem ganz finstern Zimmer beobachten. Die hellen und knallenden Funken, die man aus der großen Conductorkugel erhält, bilden immer eine einfache, meist ganz gerade, weiße oder ganz hellblaue Linie. Die Funken aus der kleinen Kugel des Conductors sind in der Regel röthlich oder violett gefärbt und haben die Gestalt einer Quaste. Nur der zunächst an der Conductorkugel sitzende Theil des Funkens ist einfach; weiterhin theilt sich der Funken in sehr viele, einzelne gerade, gebogene oder geschlängelte Fäden. Ist die Maschine gut im Gange, so findet eine Ausstrahlung solcher quastenförmiger Funken aus der kleinen Kugel auch ohne Annäherung eines leitenden Körpers statt. Die kräftigeren Funken, welche bei aufgesetztem Funkenring aus der kleinen Conductorkugel zu ziehen sind, zeigen keine so vielfache Zertheilung wie die eben beschriebenen; sie ähneln mehr den Funken, die man aus der großen Kugel erhält. Von diesen unterscheiden sie sich jedoch dadurch, daß sie nicht gerade sind, sondern ganz so zickzackförmig, wie es der Blitz gewöhnlich ist. An den Ecken der Zickzacklinie brechen zuweilen einzelne, von dem Conductor abwärts gerichtete Verzweigungen des Funkens hervor.

Auch die Spitzenausstrahlung macht sich im Dunkeln durch ein schwaches Licht bemerklich. Steckt man in die obere Oeffnung des Conductors einen Draht, so zeigt derselbe an seinem Ende einen leuchtenden Punkt oder ein

Fig. 318.



A 1/8 nat. Gr., B nat. Gr.

kleines leuchtendes Büschel und ähnliche Lichterscheinungen bemerkt man an rauhen oder spitzen Leitern, die man dem Conductor nähert. Die Spitzen der ausgestreckten Finger, die Enden einzelner vorragender Kopfhaare und viele andere Dinge zeigen glimmende Lichtpünktchen, wenn sie dem Conductor auf 1 bis 2 Decimeter genähert werden.

Ist die Entladung des Conductors genöthigt, einen Weg zu durchlaufen, der aus vielen, durch kleine Zwischenräume getrennten leitenden Körperchen besteht, so tritt in jedem solchen Zwischenraume ein kleiner Funke auf. Eine recht hübsche solche Funkenreihe zeigt die sogenannte Blitzröhre (auch Aaronsstab genannt) Fig. 318 A. Eine etwa $0^m,5$ lange, 12 bis 15^{mm} dicke Glasröhre ist an einem Ende mit einem Metallknopf versehen und am andern Ende einige Centimeter weit mit Stanniol beklebt. Von dem Knopf nach der Stanniolbelegung läuft eine spiralförmig um die Röhre gewundene Reihe kleiner, nahe aneinander liegender Stanniolblättchen. Faßt man das stanniolbelegte Ende in die Hand und nähert den Knopf wiederholt dem Conductor der Maschine, die man mit der Rechten ununterbrochen dreht, so erhält man jedesmal eine schöne Schlangenlinie von Funken; bei aufgestecktem Funkenring heller, als ohne denselben. Legt man den Knopf dauernd an den Conductor an, während man die Maschine dreht, so bekommt man oft anstatt der Funkenentladung eine Ausstrahlung von einem Stanniolblättchen zum anderen und zugleich in die Luft; der dem Conductor zunächst liegende Theil

der Spirallinie erscheint dann mit sehr zarten, zierlichen Fransen von Lichtfasern besetzt.

Eine Röhre von passender Länge und Dicke wird an beiden Enden soweit erhitzt, daß die scharfkantigen Ränder sich abrunden, nach dem Erkalten der heißen Enden der ganzen Länge nach mäßig erwärmt, durch Hindurchsaugen eines Luftstromes innerlich ausgetrocknet und dann beiderseits durch streng passende Korke verschlossen, die man hart am Ende der Röhre glatt abschneidet. Ein viereckiges Stück Stanniol wird um das eine Ende der Röhre so herumgeklebt, daß ein etwa 1^{cm} breiter Rand über das Glas vorsteht, den man umbricht, um den Kork damit zu bedecken. Das Stanniol wird mit mäßig dickem Stärkekleister recht gleichmäßig und dünn bestrichen, dann mit einem Rande der Länge nach auf das Glasrohr aufgelegt, durch Reiben mit dem Finger oder einem Bäuschchen Watte dicht angedrückt und nun unter fortwährendem Reiben nach und nach rund um die Röhre herumgewickelt. Es ist, wie schon früher einmal erwähnt, wünschenswerth, daß nur eine Spur von dem Kleister zwischen dem Stanniol und dem Glas bleibe, doch darf man auch nicht zu stark reiben, weil man sonst das eben erst angeklebte Stanniol wieder verschiebt. Die Falten des über den Kork angelegten Randes werden durch Drücken mit dem Fingernagel möglichst geglättet; man kann schließlich ein rundes Scheibchen von Stanniol, 3 bis 4^{mm} im Durchmesser kleiner als die Röhre, auf diese Stelle kleben.

Mittelst eines scharfen Messers, das man an einem Liniale führt, schneidet man etliche lange, 3 bis 4^{mm} breite Streifen von einem Stanniolblatte ab und klebt sie spiralförmig um die Glasröhre darum. Das Stanniol muß beim Schneiden mit dem Messer am Lineal auf einer harten Unterlage aufliegen, wenn es sich nicht faltig kräuseln soll, am besten auf einem Stück Zinkblech. Für das Aufkleben der schmalen Stanniolstreifen kann man sich auch der Hausenblase anstatt des Kleisters bedienen. Nach dem Aufkleben des Streifens wischt man alles unter dem Stanniol vorgequollene Klebmittel mit einem feuchten Tuche sauber weg; einen Tag später (um den Streifen erst ordentlich festkleben zu lassen) zerlegt man durch eine große Zahl doppelter Kreuzschnitte den Streifen in kleine Sechsecke und entfernt die zwischen denselben entstehenden Schnitzel mit einer Nadel oder einer Messerspitze. Die Schnitte, die man durch das Stanniol macht, sind in Fig. 318 B angedeutet; die einander zugekehrten Ecken der stehen bleibenden Stanniolblättchen sollen 0,5 bis 1^{mm} von einander entfernt sein. Um beim Schneiden das Stanniol nicht von der Glasröhre loszukratzen, benutzte man die Schneide, nicht die Spitze eines scharfen Messers; man drücke nicht unnöthig stark auf, weil sich das Messer auf dem Glase ohnedies schnell abstumpft und schärfe fleißig auf einem Wetzstein.

Einen Messingknopf von der in Fig. 311 abgebildeten Art befestigt man am Ende des Glasrohrs, indem man die Schraube in ein mit der Pfrieme in den Kork gestochenes Loch eindreht.

Die Spitzenausstrahlung läßt sich sehr deutlich machen, wenn man einen Draht von einigen Decimetern Länge, der an einem Ende zugespitzt ist, mit dem andern Ende in die obere Oeffnung des Conductors steckt. Der Conductor strahlt durch diesen Draht so viel Elektricität aus, daß er nur ganz kleine Funken giebt, kaum ein Drittel so lang, als ohne den Draht. Biegt man den aus dem Conductor vorragenden Theil des Drahtes so um, daß er ohngefähr wagrecht steht und stellt dann in 1 bis $1^{m},5$ Entfernung ein Goldblattelektroskop auf, so wird die Elektricität bis zu diesem ausgestrahlt und dasselbe geladen.

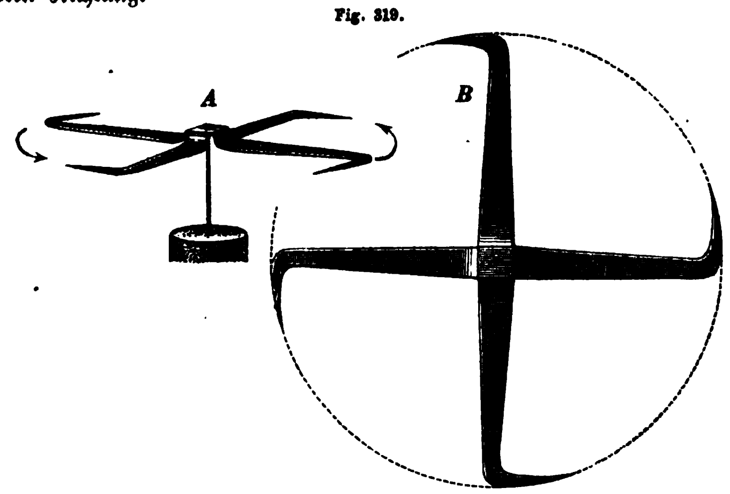
Die Elektricität, welche eine Spitze ausstrahlt, theilt sich zum Theil der dicht vor der Spitze befindlichen Luft mit, diese wird mit der Spitze gleichnamig elektrisch; es muß also eine Abstoßung zwischen beiden stattfinden. Die elektrisirte Luft flieht vor der Spitze, es entsteht eine schwache Luftströmung, welche man den *elektrischen Wind* nennt. Hält man nahe vor die Spitze eine brennende Stearinkerze, deren Docht man so kurz geschnitten

hat, daß die Flamme nur ganz klein brennt, so sieht man, wie diese Flamme beim Drehen der Maschine zur Seite geblasen wird; zuweilen wird die Flamme sogar durch die Luftströmung ausgelöscht.

Damit der Draht bei diesem Versuche nicht zu sehr zittert, nimmt man ihn nicht zu schwach, etwa 3^{mm} dick und klemmt ihn durch einen ziemlich streng in die Oeffnung der Conductorkugel passenden Kork fest.

So wie die elektrisirte Luft von der Spitze abgestoßen wird, so findet natürlich auch das umgekehrte statt; sehr leicht bewegliche Spitzen lassen sich durch diese Abstoßung in Bewegung versetzen. Das sogenannte elektrische Flugrad Fig. 319 A ist ein leicht drehbares Kreuz aus dünnem Blech, dessen Arme in vier nach einer Richtung seitlich umgebogene Spitzen auslaufen; setzt man dasselbe auf die Spitze einer Stopfnadel, deren Oehr man in einen in der Conductoröffnung sitzenden Kork gesteckt hat und dreht die Maschine, so dreht sich das Flugrad in der durch die kleinen Pfeile angedeuteten Richtung.

Fig. 319.



A a P. 1/2 nat. Gr., B 1/2 nat. Gr.

Auf ein Stück ganz dünnes Messingblech zeichnet man mittelst des Zirkels einen Kreis von 10 bis 12^{cm} Durchmesser. Man drückt zuerst mittelst des Körners eine kleine Vertiefung in die Mitte des Blechs, in die man dann die eine Zirkelspitze einsetzt und die später auf die Spitze der Nadel kommt, welche das Flugrad trägt. Dann schneidet man das Kreuz in der Form Fig. 319 B aus. Beim Schneiden verbiegt sich das Blech; man mache es durch schwaches Ausglühen in der Lampe weich, richte es wieder eben und gebe zuletzt den Armen in der Nähe der Kreuzungsstelle die aus Fig. 319 A ersichtliche Biegung. Die in Fig. B nach oben liegende Seite kommt natürlich beim Gebrauch nach unten. Beim Schneiden des Bleches achte man darauf, daß man glatte Schnittränder bekommt; etwa entstehende Rauhigkeiten müssen mit der Schlichtfeile vorsichtig entfernt werden.

Mancherlei auf der elektrischen Anziehung und Abstoßung beruhende Spielereien lassen sich mit der Elektrisirmaschine in Thätigkeit setzen; von diesen seien hier einige kurz erwähnt.

Ein mittelst eines Korkes in die Oeffnung der Conductorkugel einzusetzender, 35^{cm} langer Draht trägt oben eine angelöthete, runde Blechscheibe von 2^{cm} Durchmesser, an welche 12 bis 15 Streifen von dünnem Papier

(am besten Seidenpapier) angeklebt sind; diese Streifen hängen für gewöhnlich gerade herunter, werden aber unter einander und von dem Drahte abgestoßen, wenn die Vorrichtung durch Drehen der Maschine elektrisirt wird. Nähert man dem elektrisirten Papierstreifen einen unelektrisirten Körper, z. B. die Hand, so werden sie bis zur Berührung nach diesem hingezogen.

Der elektrische Kugeltanz: Der Deckel eines Elektrophors wird vermittelst der an ihm befestigten Schnüre so am Arme eines Retortenhalters aufgehängt, daß er wagrecht 5 bis 6cm über der Fläche des Tisches schwebt. Ein dünner Draht von passender Länge wird an einem Ende zu einem Haken gebogen, den man an das kurze Stäbchen hängt, welches die kleine Conductorkugel trägt; das andere Ende wird auf den aufgehängten Elektrophordeckel gelegt, um diesem die Elektricität des Conductors mitzutheilen. Unter den Deckel legt man eine Anzahl Kugeln von Hollundermark. Sobald durch Drehen der Maschine der Blechdeckel elektrisirt wird, zieht er die unelektrischen Kügelchen an, diese springen zu ihm hinauf, werden durch die Berührung selbst elektrisch und werden nun von ihm kräftig abgestoßen. Sobald sie den Tisch berühren, geben sie ihre Elektricität an ihn ab und werden dann sofort wieder nach oben gezogen.

Häufig werden die Kügelchen seitlich unter dem Deckel vorgeschleudert und entfernen sich so weit von ihm, daß sie nicht wieder angezogen werden. Man hat versucht, dieses Wegschleudern zu verhindern durch einen Glascylinder, welcher den Raum zwischen dem Deckel und dem Tische umschließt; die elektrischen Kügelchen bleiben aber dann gewöhnlich am Glase hängen, so daß das Spiel ebenfalls bald aufhört. Dem Wegschleudern weniger ausgesetzt als Kügelchen sind längliche, beiderseits in stumpfe Spitzen endigende Stückchen von Hollundermark von der in Fig. 320 A, oder Papierstückchen von der in Fig. 320 B dargestellten Form und Größe. Diese tanzen auch ohne den umschließenden Glascylinder oft lange zwischen Deckel und Tisch auf und nieder, ohne sich seitlich zu entfernen. Die Papierstückchen bleiben anfangs manchmal ruhig, wenn sie flach auf dem Tische liegen, beginnen aber zu tanzen, sobald man sie aufrichtet.

Fig. 320.

A B

nat. Gr.

Ohne Elektrisirmaschine kann man einen, freilich jedesmal nur kurze Zeit dauernden Kugeltanz hervorbringen, wenn man den Elektrophordeckel durch Auflegen auf den geriebenen Kuchen und Berühren mit den Finger ganz wie beim gewöhnlichen Gebrauche des Elektrophors mit Elektricität ladet und ihm nach dem Aufheben mit der Hand einige Centimeter über die auf dem Tische liegenden Kügelchen hält.

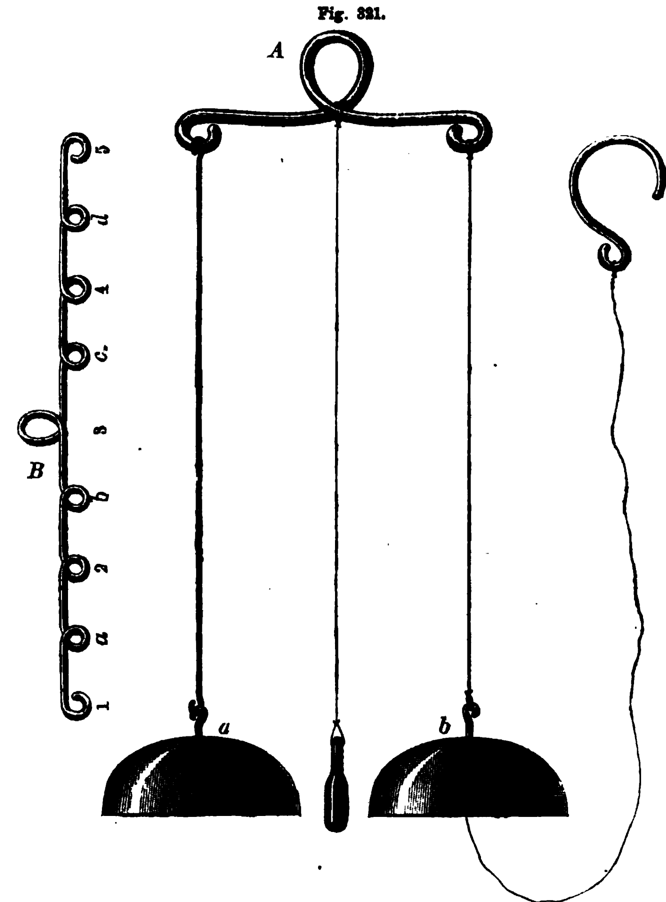
Bringt man einige Hollundermarkkugeln auf den auf dem Kuchen aufliegenden Elektrophordeckel, so fliegen sie beim Aufheben des letzteren, durch die elektrische Abstoßung getrieben, im Bogen nach allen Seiten fort.

Das elektrische Glockenspiel: Von zwei Metallglöckchen ist das eine, b Fig. 321 A, in leitende Verbindung mit dem Conductor der Maschine, das andere a ist nach der Erde abgeleitet. Zwischen beiden hängt an einem isolirenden Faden ein kleiner metallner Klöppel. Wird die Maschine in Thätigkeit versetzt und b dadurch elektrisirt, so zieht dieses den Klöppel bis zur Berührung an, theilt ihm von seiner Elektricität mit und stößt ihn dann ab. Theils infolge dieser Abstoßung, theils durch die Anziehung getrieben, welche der elektrisch gewordene Klöppel von dem unelektrischen Glöckchen a erleidet, fliegt er nach diesem hin und giebt seine Elektricität an dasselbe ab, die durch die Leitung nach der Erde abfließt. Sobald der Klöppel unelektrisch geworden ist, wird er von b wieder angezogen und beginnt das

Spiel von neuem, was solange fortdauert, als die Maschine gedreht wird. Das abwechselnde Anschlagen des Klöppels an die beiden Glöckchen bringt ein leises Geläute hervor.

Zur Herstellung dieses Spielzeugs benutzt man zwei von den kleinen Glöckchen, wie sie an den sogenannten Schwarzwälder Weckeruhren Verwendung finden. Wo möglich wähle man sie so, daß sie entweder denselben Ton oder zwei um ein consonantes Intervall (Terz, Quinte) verschiedene Töne geben. Den Klöppel macht man

Fig. 321.



A $^2/_3$ nat. Gr., B $^1/_2$ nat. Gr.

aus einem 12 bis 15^{mm} langen Stückchen 3^{mm} dicken Messingdrahtes, das man zunächst an beiden Enden abrundet und dann an einem Ende flach zufeilt, wie aus der Figur zu erkennen ist. In das flache Ende bohrt man mit einem feinen Bohrer (Fig. 118) ein Loch, um einen Seidenfaden durchziehen zu können. Zwei Stückchen Messingdraht, 1^{mm} dick, 3^{cm},5 lang, biegt man an einem Ende zu einem Ring von 4^{mm} Durchmesser, schiebt den geraden Theil durch das Loch eines Glöckchens und biegt ihn dann oberhalb ebenfalls zu einem solchen Ring. In den unteren Ring des einen Drahtes knüpft man, ehe man ihn in das Glöckchen einsetzt, einen etliche Decimeter langen Silberfaden (wie solche zur Stickerei verwendet werden); an das andere Ende dieses Fadens kommt ein Drahthaken zum Anhängen an das Stäbchen, das die

kleine Conductorkugel trägt. Einen Draht oder ein Kettchen darf man zur Verbindung nicht benutzen, weil durch dessen Gewicht das Glöckchen aus seiner Lage gezogen werden würde. Das mit dem Silberfaden verbundene Glöckchen wird mittelst eines Fadens cordonnirter Seide, das andere mit einem Draht an einen Bügel von stärkerem Drahte gehängt, der auch den Klöppel trägt. Diesen Bügel, dessen Form aus der Figur genügend zu ersehen ist, befestigt man beim Gebrauche in den Arm eines Retortenhalters.

Will man ein größeres Glockenspiel herstellen, so giebt man den Bügel die Form Fig. 321 B, hängt bei a, b, c und d Klöppel, bei 1, 3 und 5 Glöckchen an Drähten, bei 2 und 4 Glöckchen an Seidenfäden auf; die Glöckchen 2 und 5 werden mit Silberfäden versehen, die mittelst eines gemeinschaftlichen Hakens an den Conductor gehängt werden.

Faßt man ein fingergliedgroßes Flöckchen Baumwolle (zerzupfte Watte) an einem Ende zwischen die Spitzen des Zeigefingers und Daumens und nähert es bis auf etwa 10^{cm} dem elektrischen Conductor, so richten sich infolge der Anziehung alle Fasern nach diesem hin. Läßt man das Flöckchen los, ohne sich mit der Hand zu entfernen, so fliegt dasselbe nach dem Conductor hin, ladet sich mit Elektricität, fliegt nach der Hand zurück, um sich wieder zu entladen und von neuem nach dem Conductur zu gehen u. s. f. Nähert man die Hand dem Conductor noch mehr, so wird die Hin- und Herbewegung des Baumwollflöckchens eine so rasche, daß man sie kaum mehr erkennen kann.

Da die einzelnen Baumwollfasern, wenn sie elektrisch sind, sich untereinander abstoßen, so lösen sich eine Menge Fasern los, die sich an alle Theile der Maschine anhängen; da diese Fasern wie Spitzen wirken, so muß man sie durch Abwischen der Maschine sorgfältig entfernen, ehe man diese anderweit benutzt.

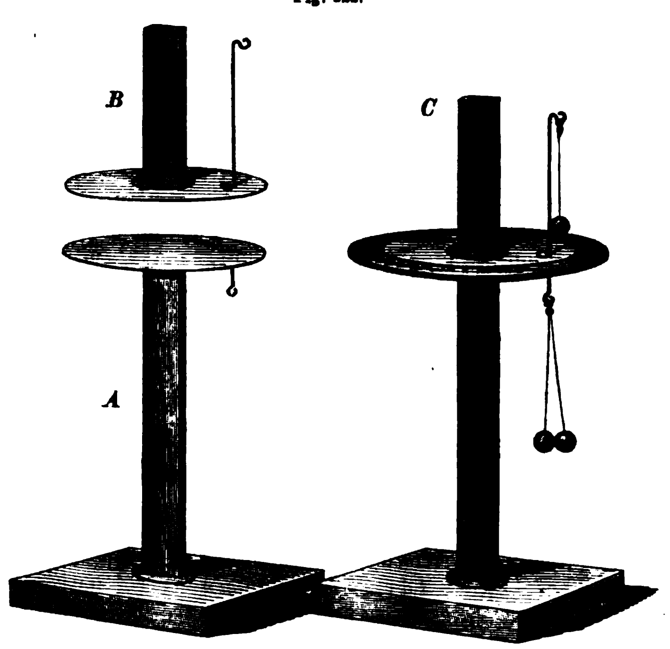
Zur Isolation großer leitender Körper, die mit Elektricität geladen werden sollen, dient der sogenannte Isolirstuhl, ein niedriger hölzerner Schemel, dessen (gewöhnlich drei) Beine aus starken Glasstäben gemacht sind. Will man seinen eigenen Körper mit Elektricität beladen, so besteigt man den Isolirstuhl und bringt sich in leitende Verbindung mit dem Conductor der Maschine, deren Kurbel von einem Gehilfen gedreht wird. Entweder berührt man unmittelbar den Conductor mit ausgestrecktem Arme oder man faßt ein Ende eines Kettchens, dessen anderes Ende an den Conductor angehängt wird. Ist jemand auf solche Weise elektrisirt, so können Andere Funken aus seinem Körper herausziehen, wenn sie ihm leitende Körper nähern oder er kann selbst freiwillig Funken austheilen, indem er mit den Finger oder mit einem in der Hand gehaltenen Metallstäbchen in die Nähe anderer leitender Körper kommt. Natürlich zeigt ein elektrischer Mensch auch Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen, insbesondere kann man bemerken, daß sich einzelne Haare sträuben, wenn sie nicht durch zuviel Pomade untereinander verklebt sind.

Die Glasfüße des Isolirstuhls, die gewöhnlich mit Schellack lackirt sind, müssen selbstverständlicherweise gut trocken sein; nöthigenfalls trocknet man sie durch Abreiben und Erwärmen. Der Isolirstuhl darf nicht zu dicht an dem Tische aufgestellt werden, auf dem die Elektrisirmaschine steht, damit die zu elektrisirende Person den Tisch nicht mit den Kleidern berührt. Auch dürfen natürlich die Kleider anderer Personen nicht mit den ihrigen in Berührung sein, wenn eine elektrische Ladung stattfinden soll.

Wegen der Ausstrahlung durch die Fasern der Kleiderstoffe, die Haare u. dergl. sammelt sich nie viel Elektricität auf dem Körper eines Menschen an; man erhält

immer nur kleine Funken. Will man für die Versuche nicht einen eigenen Isolirstuhl anschaffen, so läßt sich ein solcher für den Gebrauch zusammenstellen aus einem Brett von einigen Decimetern Länge und Breite und vier starken Wassergläsern, die man mit der Oeffnung nach unten als Füße unter die Ecken des Brettes stellt. Wegen ungleicher Höhe der Gläser und Unebenheit des Brettes oder des Fußbodens wird gewöhnlich das Brett nicht an allen vier Ecken aufliegen; wo sich zwischen ihm und dem Glase ein Zwischenraum zeigt, hilft man durch Unterlegen von Pappe oder zusammengefaltetem Papier unter das Glas nach, bis das Brett eine ganz sichere Lage hat. Wenn man vorsichtig auf das Brett steigt, ist durchaus kein Zerbrechen der Gläser zu befürchten; dieselben können eine sehr bedeutende Last tragen, wenn sie nur den Druck derselben, aber keine Stöße auszuhalten haben. Für einen vorübergehenden Gebrauch wird man die Gläser nicht lackiren, da das Abwaschen des Lacks unbequem ist und eine ziemliche Menge Weingeist erfordert. Zeigt sich, daß die


Fig. 322.



a. P. $1/3$ nat. Gr.

Gläser an und für sich nicht genügend isoliren, so reibt man sie auf der ganzen äußeren Fläche mit einem Stückchen Talg ein; ein ganz dünner Ueberzug von Talg verhütet die Bildung einer leitenden Schicht auf der Oberfläche des Glases sehr gut und ist durch einfaches Abwischen leicht wieder zu entfernen.

47. Elektrische Ansammlungsapparate, Wirkungen elektrischer Entladungen. Das Ausbreitungsbestreben der Elektricität, ihre Spannung, ist die Ursache daß sich auf einem Leiter von bestimmter Größe immer nur eine bestimmte Menge Elektricität anhäufen läßt, und zwar um so weniger, je mehr der betreffende Körper mit scharfen Rändern, Ecken oder Spitzen versehen ist, welche die Elektricität ausstrahlen. Aus einer kleinen, auf einer Siegellackstange isolirten Blechscheibe, Fig. 322 A, bekommt man immer nur ganz kleine Fünkchen, man mag sie durch einmaliges oder durch vielmaliges Daran-

hinführen eines geriebenen Glasstabs oder durch Verbindung mit dem Conductor der Elektrisirmaschine geladen haben. Was man über ein gewisses geringes Maß an Elektricität zuführt, wird durch den Rand der Scheibe und wol auch durch den an ihrer unteren Seite befestigten Draht ausgestrahlt.

Legt man eine zweite, ähnliche, mit einem isolirenden Siegellackgriff versehene Blechscheibe B, Fig. 322, so auf die erste, daß sich beide mit ihrer ganzen Fläche berühren und ladet abermals, so erhält man kaum merkbar größere Funken, als zuvor aus der einzelnen Scheibe; die aufeinanderliegenden Scheiben haben zusammen nicht wesentlich mehr äußere Oberfläche, als eine einzelne Scheibe und können deshalb auch nicht wesentlich mehr Electricität aufnehmen. Um den elektrischen Zustand der Scheiben beurtheilen zu können, versieht man die obere Scheibe mit einem an einer Leinen- oder Baumwollenfaser hängenden Hollundermarkkugel, die untere mit einem doppelten derartigen Pendel (wie es in der Figur C angedeutet ist). Ladet man die Vorrichtung, so wird das obere Pendel von dem Draht abgestoßen, an welchem es hängt, während die unteren Pendel sich untereinander abstoßen. Die Abstoßung der Pendel wird, wenn man mehrere Male mit dem geriebenen Glasstabe an den Blechscheiben hinfährt, nicht größer, als bei einmaligem Daranhinfahren: die Scheiben nehmen also bei der Wiederholung des Verfahrens keine weitere Elektricität mehr auf.

Bringt man zwischen die beiden Scheiben eine dünne Platte aus einem gut isolirenden Stoffe (Horngummi, Siegellack, Glas), welche einen etwa 2^{cm} größeren Durchmesser hat, als die Blechscheiben, Fig. 322 C, und ladet die obere Platte, indem man mit dem Glasstabe an dem auf ihr befestigten Drahte hinfährt, so ladet sie sich nicht merklich stärker als vorher.

A. Ganz andere Resultate aber erhält man, wenn man in die Oese des an der unterm Blechscheibe befindlichen Drahtes einen an einem Ende zu einem Haken gebogenen Draht von etwa 15^{cm} Länge einhängt, dessen anderes Ende die Fläche des Tisches berührt, der also die untere Scheibe in leitende Verbindung mit der Erde bringt. Theilt man jetzt der oberen Scheibe Elektricität mit, so steigt das Pendel nur langsam in die Höhe; man muß wiederholt mit dem geriebenen Glasstabe an dem Drahte hinfahren, um das Pendel so hoch zu treiben, wie es bei den ersten Versuchen stieg. Legt man nach geschehener Ladung den Daumen an die untere Blechscheibe und nähert dann den Zeigefinger der oberen Scheibe, so erhält man aus dieser einen Funken, der nicht länger, als die Fünkchen bei den ersten Versuchen, aber heller, lauter und bedeutend fühlbarer ist. Während jene Funken durchs Gefühl kaum wahrzunehmen waren, spürt man jetzt, besonders in den Fingergelenken eine merkliche Erschütterung.

B. Nun wiederhole man die Ladung der Vorrichtung ganz in der eben beschriebenen Weise, entlade sie aber nicht, sondern entferne nach der Ladung zuerst den Draht, welcher die untere Scheibe nach der Erde ableitet, hebe dann die obere Scheibe mittelst ihres isolirenden Siegellackgriffes auf und nehme endlich auch die isolirende Platte von der unteren Scheibe ab, indem man sich hütet, letztere ableitend zu berühren; nähert man jetzt diese Scheibe einem mit einer bekannten Elektricität geladenen Elektroskop, so erweist sie sich n e g a t i v elektrisch, wenn die obere Platte, wie angenommen, mit p o s i t i v e r Elektricität geladen worden war.

C. Jetzt stelle man die Vorrichtung wieder in der aus Fig. 322 C ersichtlichen Weise zusammen, ohne die untere Scheibe abzuleiten und theile

der oberen Platte positive Elektricität mit, während man eine Probekugel an die untere Scheibe hält; bringt man hierauf die Probekugel an ein geladenes Elektroskop, so zeigt sie sich positiv elektrisch.

Die Elektricität, welche man der oberen Blechscheibe mittheilt, bewirkt eine Vertheilung in der unteren Scheibe; sie stößt die gleichnamige Influenzelektricität — bei unseren Versuchen die positive — ab, die bei dem letzten Versuche in die Probekugel, bei dem vorhergehenden durch den Draht nach dem Tisch und weiter nach der Erde geht. Die Influenzelektricität erster Art — bei unseren Versuchen die negative — wird durch die Elektricität der oberen Scheibe festgehalten; entfernt man erst den ableitenden Draht und dann die obere Scheibe und die isolirende Platte, wie beim vorletzten Versuch, so wird diese gebundene Influenzelektricität frei und läßt sich am Elektroskop nachweisen. Die beiden Elektricitäten, die der oberen Scheibe mitgetheilte und die von ihr hervorgerufene, entgegengesetzte Influenzelektricität der unteren Scheibe ziehen sich gegenseitig an und würden sich vereinigen, wenn sie nicht durch die isolirende Platte getrennt wären. Durch diese gegenseitige Anziehung aber verlieren die Elektricitäten ihr Bestreben, nach außen hin fort zu gehen, ihre Spannung, und dadurch wird es möglich, sie in viel größerer Menge auf einem kleinen Raum anzusammeln, als ohne diese wechselseitige Bindung möglich wäre. Davon, daß in der That beide Elektricitäten, die der oberen Scheibe ebensowol als die der untern gebunden sind, kann man sich überzeugen, wenn man die Vorrichtung wieder wie bei dem Versuche A ladet, dann den Ableitungsdraht der unteren Scheibe entfernt und nun abwechsend die obere und die untere Scheibe durch Berühren mit dem Finger ableitet; jedesmal erhält man nur ein ganz schwaches Fünkchen und wenn man nach mehrmaliger Wiederholung des Verfahrens die beiden Scheiben durch Daumen und Zeigefinger verbindet, so erhält man immer noch eine recht fühlbare Erschütterung, zum Beweis, daß die wiederholte Ableitung der einzelnen Blechscheiben nur einen kleinen Theil ihrer Elektricität entfernt hat.

Wenn sich die Elektricitäten der beiden Blechscheiben vollständig bänden, so dürfte sich gar keine Elektricität ableiten lassen. Eine vollkommene Bindung ist aber nicht möglich, weil die beiden Elektricitäten nicht unmittelbar beisammen, sondern um die Dicke der isolirenden Platte von einander entfernt sind. Auf einige Entfernung hin kann eine Elektricitätsmenge nicht eine gleiche, sondern nur eine etwas kleinere Menge entgegengesetzter Elektricität fest halten; soll die eine der beiden Elektricitäten vollständig gebunden werden, so muß von der andern ein gewisser Ueberschuß da sein. Ladet man die obere Scheibe, während die untere nach der Erde abgeleitet ist, so ist die auf der ersteren Scheibe sich sammelnde Influenzelektricität erster Art völlig gebunden, während von der Elektricität der oberen Scheibe etwas im freien Zustand vorhanden ist; diese freie Elektricität verräth sich dadurch, daß sie das Pendel der oberen Scheibe abstößt, während die Pendel der unteren Scheibe, auf der keine freie Elektricität ist, gerade herunter hängen. Entfernt man den Ableitungsdraht von der unteren Scheibe und berührt dann die obere Scheibe ableitend, so fällt das Pendel derselben nieder, während die Pendel der unteren Scheibe auseinandergehen: derjenige Theil der Elektricität der oberen Scheibe, welcher im freien Zustande vorhanden ist, geht fort und da also die Gesammtmenge der Elektricität auf dieser Scheibe vermindert wird, so vermag sie nicht mehr alle Elektricität der unteren Scheibe gebunden

zu halten; ein Theil derselben geht in den freien Zustand über und treibt die Pendel auseinander. Auf der oberen Scheibe blieb bei der Berührung derselben nur soviel positive Elektricität, als von der negativen der unteren Scheibe gebunden werden konnte, also etwas weniger positive Elektricität, als die untere Scheibe negative enthält, so daß jetzt auf der unteren Scheibe ein Ueberschuß von freier, negativer Elektricität da ist. Leitet man nun wieder die untere Scheibe ab, so geht dieser Ueberschuß fort; die Pendel der unteren Scheibe fallen nieder und das der oberen Scheibe steigt, es wird oben ein Theil der Elektricität frei, weil die Menge der Elektricität auf der unteren Scheibe vermindert wurde. Durch oft wiederholtes, abwechselndes Ableiten der oberen und unteren Scheibe kann man nach und nach die Vorrichtung entladen; jedesmal nimmt man nur den freien Ueberschuß der Elektricität auf einer Scheibe weg und bewirkt das Freiwerden von etwas Elektricität auf der andern.[68]

Soll die Vorrichtung mit einem Male entladen werden, so ist dies nur dadurch möglich, daß man beide Scheiben in leitende Verbindung mit einander

---

[68] Nimmt man an, die isolirende Platte sei so dick, daß eine Electricitätsmenge auf der einen Scheibe durch sie hindurch auf der anderen Scheibe nur eine $\frac{19}{20}$ mal so große Menge entgegengesetzter Elektricität binden kann und nennt die positive Elektricitätsmenge, welche man der oberen Scheibe mitgetheilt hat, 1000, so findet sich auf der unteren Scheibe $\frac{19}{20} \cdot 1000 = 950$ negative Elektricität. Diese kann nur $\frac{19}{20} \cdot 950 = 902{,}5$ positive Elektricität binden; es befinden sich also von den 1000 Elektricität auf der oberen Scheibe $1000 - 902{,}5 = 97{,}5$ im freien Zustande vor. Berührt man (nachdem die Ableitung der unteren Scheibe aufgehoben ist) die obere Platte ableitend, so gehen diese 97,5 freie, positive Elektricität fort; die zurückbleibenden, gebundenen 902,5 können auf der unteren Scheibe nur $\frac{19}{20} \cdot 902{,}5 = 857{,}375$ negative Elektricität binden; es befinden sich jetzt also unten $950 - 857{,}375 = 92{,}625$ negative Elektricität im freien Zustande vor. Rechnet man so weiter, so erhält man:

Nach der	Oben			Unten		
	Im Ganzen	Gebunden	Frei	Im Ganzen	Gebunden	Frei
Ladung	1000	$\frac{19}{20} \cdot 950 =$ 902,5	1000 — 905 = 97,5	950	$\frac{19}{20} \cdot 1000 =$ 950	0
1. Berührung (oben)	902,5	902,5	0	950	$\frac{19}{20} \cdot 902{,}5 =$ 857,375	950 — 857,375 = 92,625
2. Berührung (unten)	902,5	$\frac{19}{20} \cdot 857{,}375 =$ 814,506	902,5 — 814,506 = 87,994	857,375	857,375	0
3. Berührung (oben)	814,506	814,506	0	857,375	$\frac{19}{20} \cdot 814{,}506 =$ 773,781	857,375—773,781 = 83,594
4. Berührung (unten)	814,506	$\frac{19}{20} \cdot 773{,}781 =$ 735,92	814,506—735,092 = 79,414	773,781	773,781	0

und so fort.

bringt. Die Entladung erfolgt ganz plötzlich, wenn die Verbindung beider Theile durch einen guten Leiter hergestellt wird, wenn man also z. B. die eine Scheibe mit einem, die andere mit einem anderen Finger der nämlichen oder der anderen Hand berührt. Dagegen erfolgt eine etwas langsamere (und weniger stark fühlbare) Entladung, wenn die Verbindung beider Scheiben ganz oder zum Theil durch weniger gute Leiter erfolgt. Ist z. B. die untere Scheibe der geladenen Vorrichtung durch einen angehängten Draht mit dem Tische verbunden und man nähert der oberen Scheibe einen Finger, ohne zugleich die untere Scheibe und den von ihr herabhängenden Draht zu berühren, so müssen die beiden Elektricitäten um sich zu vereinigen ihren Weg nicht nur durch den gutleitenden Draht und den menschlichen Körper, sondern auch durch das viel weniger gutleitende Holz des Tisches und des Fußbodens nehmen und dadurch erleidet die Entladung eine gewisse Verzögerung.

Vorrichtungen wie die bisher betrachtete — bestehend aus zwei flachen, gutleitenden Körpern, die getrennt sind durch eine am Rande herum vorragende Schicht eines Isolators —, welche dienen, um auf einem verhältnißmäßig kleinen Raume viel Elektricität anzusammeln, indem man durch die Anziehung der entgegengesetzten Elektricitäten ihre Spannung beseitigt, heißen **Condensatoren.**

Man schneidet aus Messing- oder Zinkblech zwei kreisrunde Scheiben von 7 bis 8^{cm} Durchmesser, nimmt am Rande allen beim Schneiden etwa entstandenen Grat mit der Schlichtfeile weg, richtet sie (bei Messingblech nach vorherigem Ausglühen über der Lampe oder in schwachem Holzkohlenfeuer) durch Klopfen mit dem Holzhammer gut eben und löthet an jede einen Messingdraht von der aus der Figur ersichtlichen Form. Nachdem die Reste des Löthwassers abgewaschen und die Scheiben wieder abgetrocknet sind, erwärmt man diese soweit, daß eine darauf gedrückte Siegellackstange anschmilzt; die Siegellackstange der unteren Scheibe kittet man mit dem anderen Ende auf ein Brettchen, das als Fuß dient. Die Pendelchen knüpft man nicht an den an die Scheiben angelötheten Drähten fest, sondern an kleinen Drahthäkchen, die man in die Oesen jener Drähte einhängen und eben so leicht wieder entfernen kann. Es ist nämlich nicht zweckmäßig, die Pendel bei allen Versuchen an dem Apparate zu haben, weil die Fasern ihrer Aufhängefäden beträchtliche Mengen Elektricität ausstrahlen; man hängt die Pendel nur an, wenn man die vorhandene freie Elektricität nachweisen will.

Als isolirende Platte dient am besten eine gut isolirende Glasscheibe; es hält aber gegenwärtig sehr schwer, im Handel gut isolirendes Tafelglas aufzutreiben; man wird deshalb gewöhnlich eine Platte von Horngummi oder Siegellack nehmen müssen. Horngummi hat den großen Vortheil, daß es nicht zerbrechlich ist und isolirt ganz gut, zumal wenn man es vor dem Gebrauche etwas erwärmt, ist aber kostspieliger als Siegellack. Die Dicke der Platte (sie sei von welchem Material sie will) soll womöglich nicht über 2^{mm} betragen, der Durchmesser sei, wie oben bemerkt, wenigstens 2^{cm} größer, als der der Blechscheiben, also 9 bis 10^{cm} (er darf noch größer sein, aber nicht kleiner, weil sonst Elektricität von einer Blechscheibe über den Rand der isolirenden Platte weg zur andern Blechscheibe überspringt).

Um eine Siegellackplatte herzustellen, schmilzt man 50 bis 60^{gr} Siegellack in ganz gelinder Ofenwärme in einem Gefäße von Thonzeug oder Steingut (einem ganz kleinen Töpfchen oder einer alten Obertasse), gießt es auf eine ebene Fläche aus und drückt einen zweiten ebenen Körper darauf, um es breit zu drücken. Man benutzt dazu entweder zwei Glasplatten oder zwei gut eben gehobelte und mit Stanniol überzogene Brettchen; die Flächen, welche mit dem Siegellack in Berührung kommen sollen, bestreicht man ganz dünn mit Fett (man reibt sie mit einem Endchen einer Talgkerze ein oder wischt sie mit einem ölgetränkten Läppchen ab) — ohne diese Vorsicht würde das Siegellack daran festkleben. Nachdem das Siegellack völlig kalt geworden ist, nimmt man es von den Glasplatten oder Holzstücken los; die Adhäsion wird durch

das zwischen dem Siegellack und dem Glas oder Holz befindliche Fett so stark, daß man die Körper nicht auseinanderreißen, sondern nur nach der Seite auseinanderschieben kann.

Will man das Gefäß, in dem man das Siegellack geschmolzen hat, wieder reinigen, so koche man es mit starker Seifensiederlauge aus, diese löst das Siegellack auf.

Die Siegellackplatte muß ihrer Leichtzerbrechlichkeit halber mit großer Vorsicht gehandhabt werden. Man bewahre sie nicht zwischen den zusammengesetzten Blechscheiben auf, sondern auf einer ebenen, genügend breiten Unterlage, weil sie sich sonst in der Sonnenwärme verbiegt. Zweckmäßig ist es, die Unterlage ebenfalls ganz schwach mit Fett zu bestreichen, damit die Platte nicht bei längerem Aufbewahren festbäckt.

Das von der Herstellung oder von der Aufbewahrung her der Siegellackplatte anhaftende Fett wird der Reinlichkeit wegen vor dem Gebrauche vorsichtig abgewischt; die Wirkung würde es nicht stören, wenn es an der Platte bliebe, weil Oel und Talg gute Isolatoren sind.

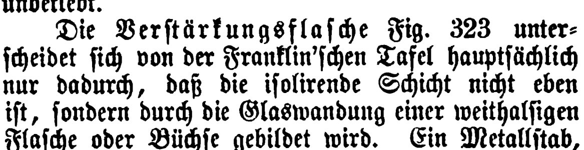
Soll ein Condensator nicht dienen, die Art und Weise seiner Wirkung zu erläutern, sondern nur, eine möglichst große Elektricitätsmenge anzusammeln, so können die leitenden Schichten mit der isolirenden Zwischenschicht fest verbunden werden. Die gewöhnlichsten Condensatoren sind die Franklin'sche Tafel und die Verstärkungsflasche (auch Leydner Flasche oder Kleist'sche Flasche genannt).

Fig. 323.

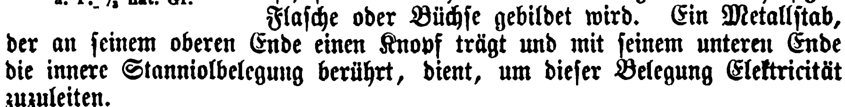


a. P. 1/3 nat. Gr.

Die Franklin'sche Tafel ähnelt ganz dem oben beschriebenen Condensator. Sie ist eine gewöhnlich viereckige, zuweilen auch runde Glastafel, welche auf beiden Seiten mit Stanniol beklebt ist; ein etliche Centimenter breiter Rand bleibt rund herum unbeklebt.



Die Verstärkungsflasche Fig. 323 unterscheidet sich von der Franklin'schen Tafel hauptsächlich nur dadurch, daß die isolirende Schicht nicht eben ist, sondern durch die Glaswandung einer weithalsigen Flasche oder Büchse gebildet wird. Ein Metallstab, der an seinem oberen Ende einen Knopf trägt und mit seinem unteren Ende die innere Stanniolbelegung berührt, dient, um dieser Belegung Elektricität zuzuleiten.



Da man nur sehr schwer isolirendes Tafelglas bekommt, während die gewöhnlichen Glasbüchsen (Einmachgläser) meist leidlich gut isoliren, da ferner die Verstärkungsflasche nicht so zerbrechlich ist und ganz dieselben Dienste leistet, wie die Franklin'sche Tafel, so verzichtet man am besten ganz auf die Anfertigung der letzteren und begnügt sich mit ein paar Leydner Flaschen.

Wer keine ergiebigere Elektricitätsquelle hat, als den Glasstab und den Elektrophor, wird sich nur eine ganz kleine und eine mittelgroße Verstärkungsflasche machen; erstere 5 bis 6^{cm} weit und 7 bis 9^{cm} hoch, letztere 8 bis 10^{cm} weit und 12 bis 16^{cm} hoch. Wer eine Elektrisirmaschine besitzt, wird noch eine große Verstärkungsflasche oder deren mehrere (2 bis 4) herstellen, etwa 15 bis 20^{cm} weit und 24 bis 32^{cm} hoch.

Die gewöhnlichen Einmachgläser (auch Zuckergläser genannt) eignen sich ihrer weiten Oeffnung wegen am besten für das Bekleben der inneren Fläche mit Stanniol. Man kann anstatt solcher Gläser auch gewöhnliche Flaschen anwenden, die man mit einer durch Leim oder Firniß angeklebten Schicht von Feilspähnen, anstatt mit Stanniol, auskleidet; doch ist dies wenig räthlich, weil die Feilspähne keine so

zusammenhänge Masse bilden, wie das Stanniol und deshalb die Elektricität nicht so gut leiten. Die ordinären, grünen Einmachgläser sehen weniger hübsch aus, als solche von farblosem Glase, erfüllen ihren Zweck aber im Uebrigen eben so gut, als diese.

Ehe man das gewählte Glas mit Stanniol überzieht, prüft man es, ob es genügend isolirt. Zu diesem Zwecke reibt man es mit einem Tuche recht trocken (besonders den oberen Theil), umwickelt es mit einem Streifen Silberpapier, der $^{2}/_{3}$ so breit, als das Gefäß hoch und so lang ist, daß er reichlich um dasselbe herumreicht und füllt es innen bis zu zwei Dritteln mit Eisenfeile oder Hammerschlag an. Den Silberpapierstreifen wickelt man so, daß er recht straff am Glas anliegt und etwa 1^{cm} über den unteren Rand vorsteht; man bindet ihn durch Umwickeln mit Zwirn fest und bricht den vorstehenden Rand so um, daß er sich einigermaßen an den Boden des Gefäßes anlegt. In das auf diese Weise vorläufig mit zwei Belegungen versehene Glas steckt man den Metallstab mit Knopf, den man zuerst anfertigt, so hinein, daß er in der Mitte der Feilspähne aufrecht zu stehen kommt und versucht dann die Vorrichtung auf die unten angegebene Weise mittelst des Elektrophors oder der Elektrisirmaschine zu laden. Sollte man keine ordentliche Wirkung bekommen, so probire man ein anderes Glas; findet man ein brauchbares, so entferne man Feilspähne und Silberpapier und versehe es mit Stanniolbelegungen.

Den Stab mache man aus 3 bis 4^{mm} (für ganz große Flaschen aus 6^{mm}) starkem Messingdraht, etwa ein Drittel länger, als das Glas hoch ist. Als Knopf eine einfach angegossene Bleikugel zu nehmen, ist nicht räthlich, weil sich eine solche Kugel schwer gut glätten läßt. Besser ist es, einen hohlen Messingknopf von 12 bis 15^{mm} (für ganz große Flaschen 20^{mm}) Durchmesser anzulöthen, den man auf die früher angegebene Weise von der innen angebrachten Schraube befreit. Gewöhnlich bleibt beim Entfernen der Schraube Loth genug im Knopfe hängen, um zu bewirken, daß der Stab anlöthet, wenn man ihn mit Löthwasser bestreicht und in die über die Lampe gehaltene Kugel hineinhält, bis er genügend heiß ist; nöthigenfalls muß man noch ein Körnchen Weichloth zubringen. Den unteren, gewöhnlich rauhen Rand des Knopfes glättet man mit der Schlichtfeile, und zwar am bequemsten nach dem Einlöthen des Drahtes, weil man den Knopf für sich allein in der Hand nicht genügend festhalten kann — in den Schraubenstock spannen darf man ihn nicht, weil er dabei seiner geringen Wandstärke wegen zerdrückt wird.

Anstatt den Knopf unten offen zu lassen, kann man ihn ganz mit Blei ausfüllen. Man überzieht zuerst das Ende des Drahtes mit Weichloth, bringt dann in den mit nach oben gekehrter Oeffnung mittelst der Tiegelzange über die Flamme gehaltenen Knopf solange kleine Bleistückchen, bis er mit geschmolzenem Blei fast gefüllt ist, setzt schließlich den mit Löthwasser bestrichenen Draht ein und wartet, bis das Blei an ihn angeschmolzen ist. Den Draht muß man dabei mit der Flachzange fassen, weil er, ehe das Blei erstarrt, zu warm wird, um ihn in den Fingern halten zu können. Was beim Einsetzen des Drathes an Blei aus dem Knopf herausquillt, entfernt man aus dem Groben mit Raspel und Messer und glättet dann den Knopf mit Schlichtfeile und feinem Smirgelpapier. Noch schöner als hohle, mit Blei ausgefüllte Messingknöpfe sind massive Messingkugeln. Man bekommt im Handel massive Kugeln mit eingegossenem eisernen Stiel, dessen äußeres Ende mit Schraubengewinde zum Einschrauben in Holz versehen ist.[69] Man spannt den Stiel einer solchen Kugel wagrecht in den Schraubenstock, so daß fast die Hälfte seiner Dicke über die Backen vorsteht, feilt das Vorstehende weg, wendet die eben gefeilte Seite nach unten und verfährt mit der anderen Seite eben so, so daß von dem Stiele nur ein etwa $1^{mm},5$ dicker Streifen übrig bleibt. Beim Feilen achte man darauf, die Kugel nicht zu verkratzen; man halte die flache Feile, deren man sich bedient, so, daß ihre schmale, ungehauene Seite der Kugel zugewendet ist. In 1^{cm} Entfernung von der Kugel feilt man den eisernen Streifen durch. Der Draht, an den die Kugel kommen soll,

---

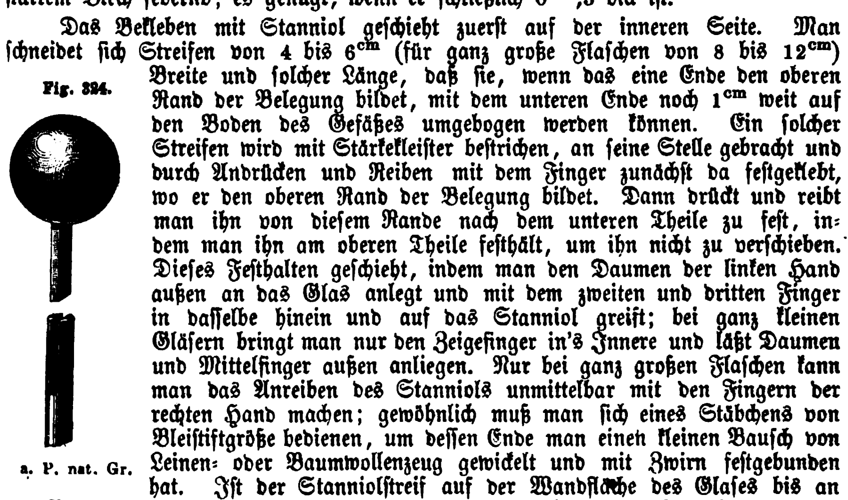
[69] Solche Kugeln von 15 bis 19^{mm} Durchmesser sind — zu 5 und 12 Pfennige das Stück — in der Werkzeughandlung von B. Littmann in Chemnitz zu haben.

bekommt einen Einschnitt mit der Bogenfeile, in den man den flachen, viereckigen eisernen Zapfen, den man an der Kugel hat stehen lassen, durch sorgfältiges Befeilen einpaßt und schließlich einlöthet. Fig. 324 zeigt Kugel und Draht vor der Vereinigung.

Auf das untere Ende des Metallstabes schneidet man 1^{cm} lang Gewinde, für das man zwei kleine, viereckige Muttern herrichtet. Zwischen diese klemmt man einen federnden Messingstreifen von 6 bis 10^{mm} Breite ein, der in der Mitte durchbohrt und in die aus Fig. 325 erkennbare Form gebogen ist. Der Streifen muß so lang sein, daß die Entfernung der beiden umgebogenen Enden etwas größer ist, als der Durchmesser des zu verwendenden Glases. Den Streifen hämmert man aus $0^{mm},5$ starkem Blech federnd; es genügt, wenn er schließlich $0^{mm},3$ dick ist.

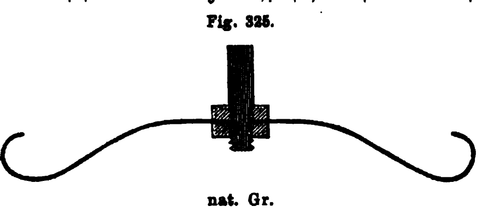
Das Bekleben mit Stanniol geschieht zuerst auf der inneren Seite. Man schneidet sich Streifen von 4 bis 6^{cm} (für ganz große Flaschen von 8 bis 12^{cm}) Breite und solcher Länge, daß sie, wenn das eine Ende den oberen Rand der Belegung bildet, mit dem unteren Ende noch 1^{cm} weit auf den Boden des Gefäßes umgebogen werden können. Ein solcher Streifen wird mit Stärkekleister bestrichen, an seine Stelle gebracht und durch Andrücken und Reiben mit dem Finger zunächst da festgeklebt, wo er den oberen Rand der Belegung bildet. Dann drückt und reibt man ihn von diesem Rande nach dem unteren Theile zu fest, indem man ihn am oberen Theile festhält, um ihn nicht zu verschieben. Dieses Festhalten geschieht, indem man den Daumen der linken Hand außen an das Glas anlegt und mit dem zweiten und dritten Finger in dasselbe hinein und auf das Stanniol greift; bei ganz kleinen Gläsern bringt man nur den Zeigefinger in's Innere und läßt Daumen und Mittelfinger außen anliegen. Nur bei ganz großen Flaschen kann man das Anreiben des Stanniols unmittelbar mit den Fingern der rechten Hand machen; gewöhnlich muß man sich eines Stäbchens von Bleistiftgröße bedienen, um dessen Ende man einen kleinen Bausch von Leinen- oder Baumwollenzeug gewickelt und mit Zwirn festgebunden hat. Ist der Stanniolstreif auf der Wandfläche des Glases bis an den Boden festgeklebt, so drückt man den umgebogenen Theil des Stanniols auf den Boden fest und reibt zunächst sehr leise und vorsichtig, weil man sonst das Stanniol wieder von der Wand losreißt; allmählig kann man etwas stärker aufdrücken. Nachdem man einen Streifen so festgeklebt hat, daß er dicht am Glase anliegt, klebt man einen zweiten Streifen derart auf, daß er oben recht schön in gleicher Höhe mit dem ersten endigt und mit einem seitlichen Rande 3 bis 4^{mm} über ihn übergreift.

Fig. 324.



a. P. nat. Gr.

Fig. 325.



nat. Gr.

Beim Anreiben des zweiten Streifens muß man darauf achten, daß man nicht wieder Kleister unter den ersten Streifen hinunter drückt; man darf deshalb nur von oben nach unten, nicht querüber reiben. Auf gleiche Weise klebt man weitere Streifen an, bis die innere Wand des Glases bedeckt ist; dann schneidet man eine kreisförmige Scheibe von Stanniol, deren Durchmesser 5 bis 10^{mm} kleiner ist, als der des Glases und klebt sie auf den Boden. Da derselbe gewöhnlich nicht ganz eben, sondern etwas kegelförmig oder gewölbt ist, muß man die Scheibe mit einem von einer Stelle des Randes bis in die Mitte reichenden Einschnitt versehen; die Ränder dieses Schnittes kommen dann etwas übereinander zu liegen. In ähnlicher Weise, aber viel bequemer, erfolgt das Bekleben der äußeren Wand- und Bodenfläche.

Der beim Anreiben des Stanniols vorgequollene Kleister wird mit einem feuchten Läppchen sauber weggewischt, das Ganze sorgfältig abgetrocknet und schließlich der unbelegte Theil des Glases mit Schellacklösung lackirt. Man hüte sich, das Glas

stärker zu erwärmen, als für das Lackiren eben nöthig ist, weil sich sonst im oberen Theile der Stanniolbelegung, der natürlich mit warm wird, leicht Blasen bilden.

Die Befestigung des Stabes geschieht bei kleinen Flaschen durch einen flachen Kork, bei größeren durch eine Scheibe von dicker Pappe. Kork oder Scheibe werden so geschnitten, daß sie streng in die Oeffnung passen und in der Mitte mit einem Loche versehen, in welches der Stab ebenfalls streng hineingeht. Man schiebt Kork oder Scheibe von unten her über den Stab bis fast an den Knopf, befestigt am Stabende den federnden Messingstreif und setzt das Ganze in das Glas ein. Während des Einsetzens muß man natürlich die Enden des federnden Streifens mit den Fingern etwas zusammendrücken, um sie durch die verengte Oeffnung des Gefäßes einbringen zu können. Den Stab läßt man auf dem Boden des Glases aufstehen und schiebt dann den Kork oder die Pappscheibe soweit herunter, daß sie sich in der Oeffnung des Glases einsetzen. Der Kork wird soweit hineingedrückt, daß seine obere Fläche mit dem Rande des Glases gleich ist. Kork oder Scheibe befestigt man mit Siegellack, indem man einen dünnen Siegellackstreifen rund herum aufstreicht und mittelst des Löthrohrs vorsichtig aufschmilzt, wie in Fig. 121 angegeben ist. Des besseren Ansehens wegen kann man den Kork oder die Pappscheibe mit einer breiig dicken Auflösung von 12^{grm} Siegellack in 6^{cc} Weingeist überstreichen. Diese Auflösung bereitet man in einem kleinen, verkorkten Opodelocgläschen; das Siegellack braucht etwa einen Tag, um sich zu lösen. Während der Lösung muß man wiederholt und jedesmal vor dem Gebrauche gut umrühren, weil sich die schweren Bestandtheile des Siegellacks zu Boden setzen. Der Anstrich trocknet langsam; er braucht einige Tage, um hart zu werden. Gewöhnlich muß man ihn ein paar mal wiederholen, wenn er gut werden soll; man hüte sich, einen zweiten Anstrich zu geben, ehe der erste ganz trocken ist.

Bei ganz großen Flaschen bringt man am unteren Ende des Stabes zwei federnde Messingstreifen übers Kreuz an, damit der Stab sicher steht.

Am bequemsten ladet man eine Flasche mittelst der Elektrisirmaschine, indem man sie am unteren, belegten Theile mit der linken Hand faßt und so hält, daß der Knopf den Conductor der mit der Rechten gedrehten Maschine fast oder ganz berührt. Große Flaschen, die man nicht sicher in einer Hand halten kann, faßt man mit beiden und läßt die Maschine von einem Gehülfen drehen oder man stellt sie neben die Maschine auf den Tisch und verbindet den Stab oder Knopf mit der Kugel des Conductors durch Anlegen des sogenannten Ausladers (siehe weiter unten).

Mittelgroße und kleine Flaschen kann man mittelst des Elektrophors laden, indem man 50 bis 100 Mal einen Funken aus dem Deckel in den Knopf der auf dem Tische stehenden Flasche schlagen läßt. Dabei bringt man zweckmäßig den Elektrophor auf eine Unterlage, daß er sich nur 5 bis 6^{cm} tiefer befindet, als der Knopf der Flasche und man den Deckel jedesmal nicht hoch zu heben braucht. Noch bequemer ist folgendes Verfahren (das sich aber nur bei einer fertigen Flasche, nicht bei der mit Silberpapier und Eisenfeile zusammengesetzten ausführen läßt): Man hält die Flasche mit der Linken in beinahe umgekehrter Stellung schräg und so, daß sich der Knopf 4 bis 5^{cm} über dem Rande des Elektrophordeckels befindet, faßt die Fäden des Deckels zwischen Zeigefinger und Daumen der Rechten und bewegt diese so weit auf und nieder, daß man immer abwechselnd mit dem fünften Finger den auf dem Kuchen liegenden Deckel und mit den gehobenen Deckel den Flaschenknopf berührt. Man kann diese Bewegung ziemlich schnell ausführen; nur hat man darauf zu achten, daß man nicht einmal zugleich mit der Hand den Deckel und mit diesem den Knopf fast oder ganz berührt, weil man sonst eine Entladung der Flasche erhält und leicht vor Schreck die Flasche fallen läßt. Ein ganz kleines Fläschchen kann man mit Hülfe des Glasstabes

laden; man faßt den das Glas umschließenden Lappen mit dem Amalgam zwischen die Handfläche und die drei letzten Finger der Linken, die Flasche zwischen den ausgestreckten Daumen und Zeigefinger desselben, so daß der Knopf der Flasche am Glasstab anliegt und führt letzteren mit der Rechten hin und her. Sollte man den Knopf des geraden Messingstabes nicht bis an den Glasstab bringen können, so gebe man dem Messingstabe die erforderliche Biegung nach der Seite.

Der Vorgang der Ladung ist ganz entsprechend dem bei der oben besprochenen Condensatorvorrichtung. Der inneren Belegung theilt man Elektricität mit (gewöhnlich positive), diese bewirkt auf der äußeren Belegung eine Vertheilung; sie bindet die (gewöhnlich negative) Influenzelektricität der ersten Art und stößt die (gewöhnlich positive) der zweiten ab. Letztere muß entfernt werden, damit sie nicht abstoßend auf die der inneren Belegung zugeführte Elektricität wirken und die Bindung derselben verhindern kann. Da man die Verstärkungsflasche beim Laden gewöhnlich auf dem Tische stehen hat oder in der Hand hält, so ist die äußere Belegung schon von selbst in der nöthigen leitenden Verbindung mit der Erde. Will man zeigen, daß die Flasche sich nicht laden läßt, wenn die äußere Belegung isolirt ist, so stellt man sie, wenn man mit der Elektrisirmaschine arbeitet, auf den Kuchen des Elektrophors; braucht man aber diesen zum Laden der Flasche, so stellt man sie auf einen kleinen Isolirstuhl. Dieser wird aus einem runden Pappstück von der Größe des Flaschenbodens und drei 2,5 bis 3^{cm} hohen Siegellackstückchen gemacht.

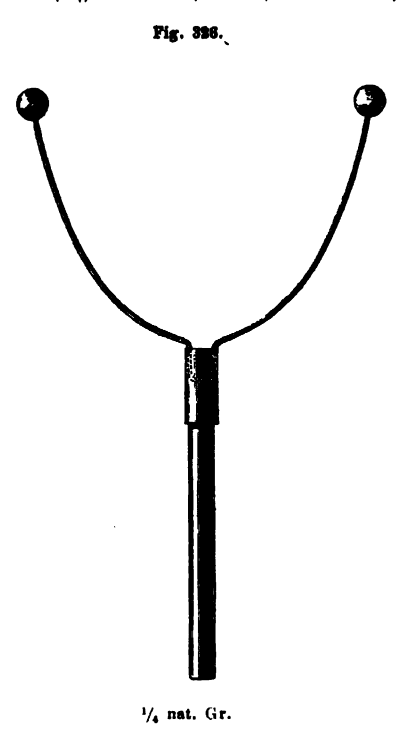
Führt man der inneren Belegung der isolirten Flasche Elektricität zu, während man den Finger oder einen anderen leitenden Körper der äußeren Belegung nähert, so kann man die außen frei werdende Influenzelektricität zweiter Art in Funken nach dem leitenden Körper überspringen sehen. Der Abstand dieses Körpers von der äußeren Belegung betrage 2^{mm}, wenn man mit den Elektrophor arbeitet; bei Anwendung der Maschine kann er 1 bis $1^{cm},5$ betragen.

Entladet man eine auf eine oder die andere Art geladene Flasche, indem man die äußere Belegung mit einer Hand berührt und dann einen Finger der anderen Hand schnell nach dem Knopf führt, so erhält man einen zwar kleinen, aber lauten und hellen Funken, der das Gefühl eines kräftigen Rucks, besonders in den Gelenken, hervorruft. Die Länge der Funken beträgt bei einem Fläschchen, das mittelst des geriebenen Glasstabs geladen ist und bei einer mit den Elektrophor geladenen Flasche 5 bis 8^{mm}. Mittelst der Elektrisirmaschine kann man Flaschen von gut isolirendem Glase, deren Wandstärke 3^{mm} beträgt, so stark laden, daß sie 3 bis 6^{cm} lange Funken geben; manchmal geschieht es sogar, daß ein Funke von der einen Belegung zur anderen über den unbelegten Rand des Glases wegspringt. Dünnwandigere Flaschen geben bei gleich starker Ladung weniger lange Funken, als dickwandigere, weil sich die auf den beiden Belegungen befindlichen Elektricitäten stärker anziehen, wenn sie einander näher sind und deshalb weniger Spannung behalten. Bei sehr starker Ladung dünnwandiger Flaschen kann es aber vorkommen, daß die Elektricitäten infolge ihrer starken, gegenseitigen Anziehung sich einen Weg durch die Glaswand bahnen; eine solche durchbohrte Flasche ist nicht mehr zu brauchen; versucht man sie zu laden, so springt die Elektricität durch die einmal gebildete Oeffnung sofort von einer Belegung zur andern über.

Um Flaschen zu entladen, ohne die Entladung durch den Körper gehen zu lassen und sich der Erschütterung auszusetzen, dient der Auslader Fig. 326, ein Bügel von starkem Draht mit Metallknöpfen an den Enden, der mit einem isolirenden Griff versehen ist.

Ein 25 bis 40^{cm} langer, 2^{mm} dicker Messingdraht wird durch Ausglühen weich gemacht, an die Enden werden Knöpfe (der Leichtigkeit wegen am besten hohle) angelöthet und der mittlere Theil des Drahtes, der in eine Blechhülse kommen soll in die in der Figur punktirt angedeutete Form gebogen. Von einem Glasstab bricht man ein 12 bis 20^{cm} langes Stück ab, nachdem man die Bruchstelle mit der mit Wasser oder Petroleum benetzten, dreikantigen Feile rund herum stark eingefeilt hat und schleift beide Enden auf dem Schleifsteine ab, um sie etwas abzurunden. Ein viereckiges Stück $0^{mm},5$ dickes Messingblech von passender Größe macht man durch Ausglühen weich und klopft es mit dem Holzhammer über einem runden Holz- oder Metallstab zu einer Hülse von solcher Weite, daß der Glasstab leicht hineingeht. An der Zusammenfügungsstelle sollen die Ränder des Blechs 2^{mm} weit übereinander greifen. Man bestreicht die Zusammensetzungsfuge mit Löthwasser, bringt ein Stückchen Weichloth darauf und erwärmt in der Lampenflamme, bis das Loth die Fuge ordentlich ausgefüllt hat. Dann bestreicht man die Hülse innen auf der Hälfte ihrer Länge mit Löthwasser, steckt den ebenfalls mit Löthwasser benetzten mittleren Theil des Drahtbügels hinein, legt ein erbsengroßes Stück Weichloth in die Höhlung und erwärmt wieder, bis sich das Loth überall zwischen Draht und Hülsenwandung hineingezogen hat — man muß die Hülse etwas drehen, damit dies geschieht. Die Reste des Löthwassers werden mit Wasser gut weggewaschen (aus dem Innern der Hülse unter Zuhülfenahme einer Gänse- oder Taubenfeder), das etwa nach außen geflossene Loth wird sauber weggefeilt und dann die mäßig erwärmte Hülse innen mit Siegellack ausgekleidet. Nachdem das Siegellack erkaltet ist, schiebt man das bis zum Schmelzpunkte des Siegellacks erwärmte Ende des Glasstabs in die Hülse hinein.

Fig. 326.



1/4 nat. Gr.

Die beiden Arme des Ausladers werden schließlich ohngefähr in die aus Fig. 326 ersichtliche Form gebogen; je nach Bedürfniß lassen sie sich in jedem Falle weiter zusammen oder auseinander biegen.

Beim Gebrauche faßt man den Auslader an dem Glasstiel, legt zuerst den einen Knopf an die äußere Belegung und dreht dann den Auslader so, daß sich der zweite Knopf desselben schnell dem Knopfe der Flasche nähert; damit sich dabei der erste Knopf nicht wieder von der Belegung entfernt, muß man den Auslader sanft gegen die Flasche drücken.

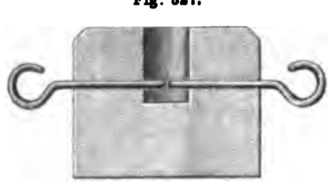
Bei der Entladung der Flasche geht die eine Elektricität durch den Leiter, welcher beide Belegungen verbindet, von der inneren Belegung nach der äußeren, die andere Elektricität von der äußeren Belegung nach der

inneren zu; in dem Leiter findet die Vereinigung der entgegengesetzten Elektricitäten statt. Diese Bewegung der Elektricitäten nennt man den **Entladungsstrom**.

Die **Wirkungen** des Entladungsstromes sind von verschiedener Art. Außer den schon bekannten Wirkungen auf unser Gefühl ruft der Entladungsstrom der Verstärkungsflasche hauptsächlich noch mechanische Erschütterungen (Bewegungen, Durchbohrungen oder Zertrümmerungen) und Erwärmungen hervor. Beiderlei Wirkungen sind stärker beim Durchgang des Stromes durch schlechte, als durch gute Leiter. Die gutleitenden Metalltheile der Flasche und des Ausladers lassen bei der Entladung gar keine Wirkung wahrnehmen; in Wirklichkeit werden sie erwärmt, aber so außerordentlich wenig, daß wir es nicht bemerken können. Dagegen können sich schlechtleitende Körper beim Durchgang des Entladungsstromes leicht bis zur Entzündung erhitzen.

Unter den starren Stoffen ist durch den elektrischen Funken am leichtesten zu entzünden ein staubfeines Gemenge von gleichen Theilen **Schwefelantimon und chlorsaurem Kalium** (**chlorsaurem Kali, Kaliumchlorat**). Man bringt das Gemenge in den sogenannten elektrischen **Mörser** (in Fig. 327 im Durchmesser dargestellt), einen kleinen, viereckigen Klotz von hartem Holze mit einer Höhlung, in welche von beiden Seiten Metalldrähte hineinragen, die innen 1^{mm} von einander abstehen, außen zu Ringen gebogen sind. Nach dem Füllen des Mörsers mit dem Zündgemisch hängt man in den links befindlichen Ring das Ende eines einige Decimeter langen Kettchens, legt dessen anderes Ende an die äußere Belegung der geladenen Flasche und nähert den Knopf derselben schnell dem rechts befindlichen Drahtring; in dem Augenblick, wo der Funke von dem Knopf nach dem Drahtring und innen zwischen den zwei Drähten überspringt, entzündet sich die Füllung des Mörsers; sie brennt fast so blitzähnlich ab, wie Schießpulver.

Fig. 327.



½ nat. Gr.

In ein Klötzchen von 5^{cm} Länge und Breite und 4^{cm} Dicke bohrt man von oben mit dem Centrumbohrer ein etwa 12^{mm} weites, 2^{cm} tiefes Loch. 15^{mm} unter der oberen Fläche bohrt man mit einem feinen Nagelbohrer ein Loch quer durch den ganzen Klotz und schiebt in dasselbe von beiden Seiten Messingdraht von der aus der Figur ersichtlichen Form ein; die Stärke des Drahts nehme man so, daß er streng in das gebohrte Loch hineingeht und ohne besondere Befestigung hält. Die einander zugewendeten Enden der beiden Drähte werden rundlich gefeilt.

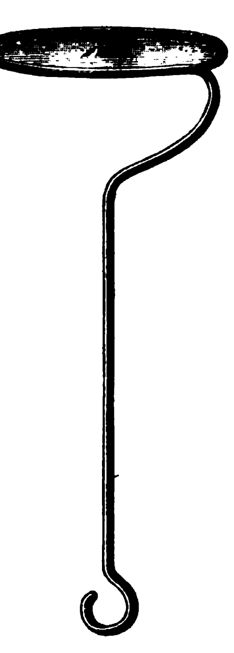
Die leichte Entzündbarkeit des Gemisches, das man zum Füllen des Mörsers verwendet, hängt ganz und gar davon ab, daß dasselbe recht fein gepulvert ist. Wegen der Feuergefährlichkeit der Zündmischung fertige man nie mehr davon an, als man sofort zu verbrauchen denkt; 2^{grm} von jedem Bestandtheile sind zu zwei Versuchen genügend. Das chlorsaure Kalium ist ein weißes Salz, das man im Handel entweder in kleinen, durchsichtigen, blättrigen Krystallen oder als grobes Pulver erhält. Es ist für sich allein nicht brennbar, verursacht aber mit brennbaren Stoffen gemischt zuweilen sehr lebhafte und manchmal gefährliche Verbrennungen und Verpuffungen; man bewahre es deshalb in einem Glasbüchschen auf, um es vor Verunreinigung durch Staub, Holzspähnchen u. dergl. zu schützen. Die abgewogene Menge des Salzes wird in einer Porzellanreibschale so lange gerieben, bis sie sich ganz fein mehlig, nicht mehr im Mindesten körnig anfühlt. Das feingepulverte Salz schüttet man einst-

weilen aus dem Mörser auf ein Papier, indem man das, was etwa in der Reibschale oder an der Reibkeule festsitzt, durch Reiben mit dem Finger ablöst.

Das Schwefelantimon ist ein schwarzes Mineral, das im Handel gepulvert, aber nicht genügend fein gepulvert vorkommt; es muß auch so lange gerieben werden, bis es ganz mehlig anzufühlen ist und keine glänzenden Pünktchen mehr zeigt. Ehe man das Schwefelantimon in die Reibschale bringt, muß dieselbe mit Wasser ausgewaschen und wieder getrocknet werden, damit jede Spur des chlorsauren Kaliums entfernt ist. Nachdem das Schwefelantimon ganz fein gerieben ist, bringt man das zuerst gepulverte Salz hinzu und mengt beide Stoffe ganz innig durch anhaltendes Reiben mit dem weichen Theile der Fingerspitze. Mit der harten Mörserkeule darf das Gemenge nicht gerieben werden; dadurch könnte man eine Entzündung desselben veranlassen und sich die Hand, in der man die Keule hält, verbrennen.

Der Mörser wird soweit mit dem Gemisch lose gefüllt, daß dasselbe die Drähte 2 bis 3^{mm} hoch überdeckt. Man versuche nicht etwa, den Mörser durch einen Propf zu verschließen, dabei könnte er zersprengt werden. Die brennende Zündmasse fährt als lebhafter Strahl aus der Mörseröffnung heraus; man bewirke die Entzündung mit gestrecktem Arm, damit man nichts ins Gesicht bekommt. Nach gemachtem Gebrauche reinigt man den Mörser durch Auskratzen mit einem alten Messer oder dergl. von den darin gebliebenen, geschmolzenen Resten der Zündmasse.

Fig. 328.



a. P. nat. Gr.

Von tropfbaren Körpern eignet sich zur elektrischen Zündung am besten der Aether (auch Schwefeläther genannt), eine Flüssigkeit, welche fast ebenso leicht verdunstet und so brennbar ist, wie Schwefelkohlenstoff, aber keinen so unangenehmen Geruch besitzt. Den Stiel des ganz flachen Gefäßes Fig. 328 klemmt man im Retortenhalter ein, hängt in den Ring desselben ein Ende eines Kettchens, gießt einige Tropfen auf das Gefäß, legt das freie Ende des Kettchens an die äußere Belegung der geladenen Flasche und nähert den Knopf der Flasche schnell der kleinen Erhöhung in der Mitte des Gefäßes — der überspringende Funke entzündet ziemlich sicher den Aether.

Das Gefäß besteht aus einer Scheibe von dünnem Messingblech, welches auf die untere Seite eines Ringes aus 2^{mm} starkem Messingdraht gelöthet wird, der den Rand des Gefäßes bildet und an dem sich gleich der Stiel befindet. Die Erhöhung in der Mitte des Gefäßes bringt man vor dem Auflöthen der Blechscheibe an, indem man diese durch Ausglühen weich macht, auf eine Unterlage von Blei legt, ein rundlich zugefeiltes Stäbchen von Eisen oder Messing daraufsetzt und auf dieses einen ziemlich schwachen Hammerschlag thut. Um das Anlöthen des Drahtrings leicht bewerkstelligen zu können, schneidet man die Blechscheibe anfangs viereckig, so daß man sie an einer Ecke mit der Flachzange fassen und so in die Flamme halten kann; nach dem Anlöthen entfernt man die vorstehenden Theile mit Blechscheere und Feile.

Die kleine Erhöhung in der Mitte ist nöthig, um dem Funken einen ganz bestimmten Weg vorzuzeichnen; fehlt sie, so breitet er sich auf der Oberfläche der Flüssigkeit strahlig aus und bringt keine so kräftige Wirkung hervor, als wenn er eine einzelne, gerade Linie bildet. In einem tieferen Gefäße, als das unsrige ist, läßt sich der Aether nur schwer entzünden. Der schon bei gewöhnlicher Zimmerwärme

aus dem Aether sich reichlich entwickelnde Dampf ist schwerer als die Luft, wie man leicht sehen kann, wenn man an dem mit Aether gefüllten, flachen Gefäße vorbei nach dem hellen Fenster blickt; man sieht den durchsichtigen Dampf über den Rand des Gefäßes abwärts fließen. Hat das Gefäß einen hohen Rand, so füllt sich der Raum innerhalb desselben mit dem schweren Dampfe an, die Kugel der Flasche taucht in diesen Dampf ein und der Funken springt ganz innerhalb des Dampfes über; dabei kann sich der Aether trotz der großen Brennbarkeit seines Dampfes nicht entzünden, weil es da, wo die Erhitzung durch den Funken stattfindet, an der zum Brennen nöthigen Luft fehlt.

Das Aufgießen des Aethers auf die flache Schale darf erst nach dem Laden der Flasche stattfinden, weil während des Ladens, wenigstens wenn es mit dem Elektrophor geschieht, der Aether verdunstet. Hat man eine Elektrisirmaschine, so bedarf man zu diesem Versuche gar keiner Flasche; man stellt das Gefäß mit dem Aether in der Nähe des Conductors auf, läßt von dem Ringe des Drahtstieles ein Kettchen auf die Erde herunterhängen und legt eine Kugel des Ausladers an den Conductor an und hält die andere 1 bis $1^{cm},5$ über die Erhöhung des Gefäßbodens.

Der Aether kann nicht — wie der Schwefelkohlenstoff — unter Wasser aufbewahrt werden, weil er darauf schwimmt und in Berührung mit Wasser beträchtliche Mengen davon aufnimmt. Man versehe die Flasche, in der er sich befindet, mit einen weichen, recht gut schließenden Korke und stelle sie jedesmal wohlverkorkt beiseite, ehe man den ausgegossenen Aether entzündet. Sollte von diesem etwas im brennenden Zustande über den Rand des Gefäßes und auf den Retortenhalter fließen, so genügt recht kräftiges, stoßweises Blasen zum Auslöschen, wenigstens wenn man nicht unnöthig viel Aether angewendet hat.

Fig. 329.



$^1/_2$ nat. Gr.

Brennbare Gase sind selbst durch ganz schwache elektrische Funken leicht zu entzünden; sehr häufig gelingt es, das einem Bunsen'schen Brenner entströmende Leuchtgas durch Annäherung des geladenen Elektrophordeckels in Brand zu setzen, besonders wenn man den Brenner ganz oder fast wagrecht hält. Um mit schwachen Funken eine sichere Entzündung zu bewirken, dient die kleine Vorrichtung Fig. 329, bestehend aus einem Korck, welcher ein Ausströmungsröhrchen für das Gas und zwei isolirte Drähte trägt, zwischen denen der Funke überspringen soll. Man spannt den Kork im Retortenhalter ein und steckt an das Glasrohr unten einen Kautschukschlauch, der zur Gasleitung oder dem Wasserstoffentwickelungsapparate führt. Auf den Schlauch setzt man einen Schraubenquetschhahn, um das Ausströmen des Gases so regeln zu können, daß die Flamme nicht größer wird, als sie in der Figur angegeben ist. Den Ring des links befindlichen Drahtes berührt man mit dem Finger, während man den geladenen Elektrophordeckel dem Ringe des anderen Drahtes nähert; die Entzündung erfolgt jedesmal ganz sicher.

Die beiden Drähte läßt man oben anfangs gerade, erwärmt den mittleren Theil, bis Siegellack darauf schmilzt und umgiebt sie mit einer bleistiftdicken Hülse von Siegellack. Nach dem Erkalten schiebt man sie in die passend gebohrten Löcher des Korkes, giebt ihnen oben die nöthige Biegung und setzt zuletzt die Glasröhre ein; diese ist oben in eine Spitze mit 0,5 bis 1^{mm} weiter Oeffnung ausgezogen. Drähte und Rohr sollen streng in die für sie gebohrten Löcher hineingehen, damit sie sich nicht verschieben; der Abstand der rund gefeilten Drahtenden betrage 3^{mm}, ihre Höhe

über der Mündung der Röhre $1^{mm},5$. Benutzt man Wasserstoffgas, so muß dasselbe in der S. 242 angegebenen Weise auf seine Reinheit geprüft werden, ehe man versuchen darf, es durch den elektrischen Funken zu entzünden.

Man hat auch Vorrichtungen, um darin Gemenge von Leuchtgas oder von Wasserstoffgas mit Luft — Knallgas — zu entzünden, sogenannte elektrische Pistolen; dieselben erfordern gehörige Vorsicht beim Gebrauche und sollen hier unberücksichtigt bleiben, da man an ihnen doch nichts weiter lernen kann, als an der einfachen Zündvorrichtung.

Um zu zeigen, daß auch gute Leiter durch den Entladungsstrom erwärmt werden, dient die Vorrichtung Fig. 330. Ein weithalsiges Opodeldocglas ist mit einem gutschließenden Kork versehen, durch den zwei Drähte und eine Glasröhre hindurchgehen. Letztere ist oben bis auf eine Weite von etwa $1^{m},5$ ausgezogen und wagrecht umgebogen; die Drähte sind verbunden durch ein langes, ganz schmales Stanniolstreifchen. Man erwärmt das Glas ganz wenig, indem man es einen Augenblick mit der Hand umfaßt und bringt dann an das Ende des Glasrohrs einen Tropfen Wasser. Die Luft in dem Glase hat sich durch die geringe Erwärmung ein wenig ausgedehnt; indem sie sich wieder zusammenzieht, geht der Wassertropfen ein Stück in das Glasrohr hinein. Die äußere Belegung einer möglichst stark geladenen Flasche wird durch ein Kettchen mit dem Ringe des einen Drahts verbunden und der Knopf dem anderen Ringe schnell genähert — die beim Durchgange der Elektricität durch das feine Stanniolstreifchen entwickelte Wärme dehnt abermals die Luft ein wenig aus und diese schiebt den Wassertropfen ein oder einige Millimeter vorwärts.

Fig. 330.



½ nat. Gr.

Die Drähte der Vorrichtung Fig. 330 sitzen unmittelbar im Kork, sie brauchen nicht besonders durch Siegellack isolirt zu sein, da von der verhältnißmäßig großen Elektricitätsmenge der Flaschenladung doch nur der kleinste Theil durch den schlechtleitenden Kork, die Hauptmasse durch das gutleitende Stanniol geht. Das Stanniolstreifchen soll nicht breiter sein als $0^{mm},3$. Man schneidet es mit einem recht scharfen Messer an einem Lineal auf Blechunterlage; es ist besser, wenn die Schneide des benutzten Messers vorn gebogen (wie bei einem Radirmesser), als wenn sie spitz ist. Die Befestigung des Stanniolstreifchens an die Drähte geschieht durch Umwickeln der aufeinander gelegten Theile mit einem 5^{mm} breiten, 10^{mm} langen, mit Kleister bestrichenen Stanniolstreifen.

Während die Entladung unserer mittelgroßen und nicht stark geladenen Flasche nur eine eben nachweisbare Erwärmung des Stanniolstreifchens bewirkt, kann man durch sehr starke Entladungen dasselbe bis zum Schmelzen und Verbrennen erhitzen. Es gehört dazu eine Zusammenstellung (sogenannte Batterie) von Verstärkungsflaschen, die mit Hülfe der Elektrisirmaschine geladen wird. Von etwa vier gleichen, möglichst großen Flaschen verbindet man die äußeren Belegungen untereinander, indem man sie auf eine gemeinschaftliche, leitende Unterlage, ein mit Stanniol überklebtes Pappstück oder Brett oder in einen mit Stanniol ausgekleideten, niedrigen Kasten stellt. Die inneren Belegungen verbindet man entweder durch dünne Messingstäbe, die man in eigens dazu gebohrte Löcher der Metallknöpfe einsteckt oder einfacher durch mäßig straffes Herumlegen eines Kettchens um die vier Stäbe der in

ein Viereck gestellten Flaschen; das Ende des Kettchens wird dann gleich behufs der Zuleitung der Elektricität an den Conductor der Maschine gehängt.

Zu manchen Batterieversuchen braucht man außer dem gewöhnlichen Auslader noch einen sogenannten allgemeinen (Henley'schen) Auslader, d. i. ein Brett, das zwei auf Säulchen isolirte, leitende, bewegliche Stäbe und zwischen ihnen einen kleinen Tisch trägt. Am einfachsten erhält man einen solchen Auslader, wenn man auf ein Brett in je 8^{cm} Entfernung von einander drei starke Stangen Packsiegellack aufkittet, die mittlere 7^{cm}, die äußeren 10^{cm} hoch, von denen die mittlere ein dünnes, rundes Brettchen (ein Stück Cigarrenkistenwand) von 6^{cm} Durchmesser trägt, die äußeren am oberen Ende mit wagrecht angekitteten Korken versehen sind. Zwei 15 bis 18^{cm} lange Stücke von 2^{mm} starkem Messingdraht werden der ganzen Länge nach durch Ausglühen weich gemacht, an je einem Ende zu einem ringförmigen Haken gebogen und in wagrechter Richtung durch die Korke gesteckt, die man zu diesem Zwecke mit einer Pfrieme durchbohrt hat. Durch Verschieben und Biegen der Drähte kann man die Enden an jede beliebige Stelle bringen.

Will man ein feines Stanniolstreifchen schmelzen, so steckt man die Drähte so in die Korke, daß die geraden Enden einander zugekehrt und etwa 6^{cm} von einander entfernt sind, befestigt an ihnen das feine Stanniolstreifchen so, wie oben angegeben, verbindet durch ein Kettchen den einen Draht des allgemeinen Ausladers mit der stanniolbeklebten Unterlage der Batterie und hängt endlich ein zweites Kettchen mit einem Ende an den zweiten Draht des allgemeinen, mit dem anderen Ende an einen Arm des gewöhnlichen Ausladers. Sobald die Batterie kräftig geladen ist, nähert man schnell einen Knopf dieses Ausladers einem der Flaschenknöpfe — gelingt der Versuch gut, so verschwindet unter Feuererscheinung das ganze Stanniolstreifchen, indem es sich in feine Wölkchen von Zinnasche (Zinnoxyd) verwandelt; gelingt der Versuch nur halb, so schmilzt das Streifchen nur an einer oder zwei Stellen durch.

Selbst ganz feinen Eisendraht kann man durch die Entladung einer Batterie verbrennen. Der dünnste, im Handel für gewöhnlich vorkommende Eisendraht ($0^{mm},2$ stark) ist dafür an und für sich noch zu dick, er läßt sich aber durch Säure genügend dünn ätzen. Ein 10^{cm} langes Stück davon biegt man an beiden Enden zu einem kleinen Oehr zusammen und ätzt den mittleren Theil durch Einlegen in ein Gemisch von 3^{cc} Salpetersäure mit 30^{cc} Wasser so dünn, als nur irgend möglich ist. Man darf nur die Enden des Drahtes durch Ausglühen weich machen, weil der beim Glühen angelaufene Theil von der Salpetersäure nicht gut angegriffen wird. Das Glühen nimmt man besser in der Flamme einer Weingeistlampe, als in der eines Bunsen'schen Brenners vor, weil in letzterer der Draht zu leicht ganz verbrennt. Die verdünnte Säure bringt man in ein Schälchen; den dünn geätzten Draht spült man mittelst des Wasserstrahls der Spritzflasche ab und hängt ihn dann an die Drahtringe des allgemeinen Ausladers, dessen Drähte für diesen Versuch so in die Korke gesteckt werden, daß sie einander diese Ringe zukehren. Im Uebrigen verfährt man dann wie bei dem Stanniolstreifchen. Auch der Eisendraht wird manchmal nur an einzelnen Stellen geschmolzen, bei vollkommenem Gelingen des Versuchs aber zu lauter glühend umherfliegenden Tröpfchen verbrannt.

Beim Umgehen mit Salpetersäure hüte man seine Kleider und betupfe etwa davon betroffene Stellen schleunigst mit Lösung von kohlensaurem Ammon. Sind Flecken einmal sichtbar geworden, so gelingt die Wiederherstellung der zerstörten Farbe bei Salpetersäure gewöhnlich nicht mehr, während sie bei nicht zu alten Schwefel- oder Salzsäureflecken gewöhnlich gelingt. Auf den Händen bringt die Salpetersäure gelbe Flecken hervor, die nur in dem Maße verschwinden, wie die gefärbte Haut nach und nach sich ablöst und durch neue ersetzt wird.

Der Funke, welcher bei der Vereinigung der entgegengesetzten Elektricitäten auftritt, ist nichts anderes, als ein Glühen der Lufttheilchen, durch welche die Elektricität hindurchgeht. Da die Luft ein Nichtleiter ist, so wird sie schon von schwachen Entladungen bis zum Glühen erwärmt. Läßt man

Funken in anderen Gasen überspringen, als in atmosphärischer Luft, so zeigen sie auch andere Farben; z. B. sehen Funken, welche zwischen zwei in einer Umgebung von Wasserstoff befindlichen Leitern überspringen, schön carminroth aus. Die Art und Weise, wie man die Funken in verschiedenen Gasen beobachtet, wird später erwähnt werden; hier sei noch bemerkt, daß sich der glühenden Luftmasse des Funkens auch Spuren von den Metallen beimischen, zwischen denen der Funke überspringt. Besonders ist dies der Fall, wenn die Entladung recht kräftig ist und die Metalle nahe bei einander stehen; die verflüchtigten Mengen der Metalle, so gering sie immer sind, geben im glühenden Zustande Licht genug aus, um das Spectrum derselben deutlich beobachten zu können.

Je mehr Spannung die Elektricität besitzt, um so größere Strecken vermag sie in der nichtleitenden Luft zu überspringen, um so längere Funken vermag sie zu geben. Die Länge der Funken hängt aber nicht allein ab von der elektrischen Spannung, sondern auch von der Dichtigkeit der Luft. Dünnere Luft wird leichter von der Elektricität durchströmt, als dichte; in verdünnter Luft erhält man deshalb bei gleicher Spannung längere Funken.

Ein unvollkommenes Barometer, bei dem der Raum über dem Quecksilber nicht ganz vollkommen leer ist, ist recht geeignet, den Durchgang der Elektricität durch sehr verdünnte Luft zu zeigen; nur muß am oberen Ende ein Draht durch die Wandung des Barometers hindurchgehen, um die Elektricität zu leiten. Nähert man dem aus dem Barometer herausragenden Theile des Drahtes der Knopf der geladenen Verstärkungsflasche, während deren äußere Belegung in leitender Verbindung ist mit dem Gefäße des Barometers, so geht die Entladung durch die ganze Quecksilbersäule des Barometers und den Raum über dem Quecksilber hindurch, selbst wenn letzterer 20 und mehr Centimeter lang ist. Es tritt in diesem mit ganz verdünnter Luft gefüllten Raume ein breiter, bandartiger Funke von grüner Farbe auf; die grüne Farbe rührt her von einer Spur Quecksilberdampf, die sich immer in der Toricelli'schen Leere findet.

Drähte von Platin lassen sich so in die Wandung gläserner Gefäße einschmelzen, daß sie darin fest und luftdicht halten; zu diesem Einschmelzen gehört aber eine bedeutende Geschicklichkeit. Für den vorliegenden Zweck reicht es aus, einen Eisendraht mit Siegellack luftdicht in das obere Ende einer an beiden Enden offenen Röhre einzukitten. Die Röhre soll 1^m lang und mindestens 4^{mm} weit sein; hat man genug Quecksilber, so kann man auch eine weitere Röhre nehmen. Die Ränder der Röhre werden an beiden Enden etwas rund verschmolzen, dann erwärmt man die Röhre der ganzen Länge nach über der Lampe oder an einem Ofen und saugt einen Luftstrom hindurch, um sie völlig auszutrocknen. Ein Eisendraht von 1 bis 2^{mm} Dicke und 8^{cm} Länge wird an einem Ende zu einem Ringe gebogen, die Mitte des geraden Theiles erwärmt man, bis Siegellack darauf schmilzt und umgiebt sie, nachdem sie sich etwas abgekühlt hat, mit einem Wulst von Siegellack, der etwas dicker ist, als die Glasröhre weit ist. Nach dem völligen Erkalten des Siegellacks erwärmt man ein Ende der Glasröhre und setzt den mit dem Siegellack umgebenen Draht hinein; das Siegellack schmilzt dabei an das warme Glas an und bildet den Verschluß dieses Endes. Beim Erwärmen der Glasröhre hat man auf zweierlei zu achten, erstens darauf, daß man dieselbe schief und zwar mit dem zu erwärmenden Ende aufwärts hält (sonst gelangt aus der Flamme Feuchtigkeit hinein, die später nicht mehr gut zu entfernen ist), und zweitens darauf, daß das Glas nicht heißer wird, als zum Schmelzen des Siegellacks eben erforderlich ist. Ist das Glas zu heiß, so kann es leicht springen und das Siegellack wird zu dünnflüssig, es schäumt blasig auf und

überzieht dabei leicht das in das Innere des Rohres hineinragende Ende des Eisendrahtes, welches frei bleiben soll.

Das fertige Rohr füllt man, wie es beim Barometer angegeben ist. Durch Hin- und Herlaufenlassen einer 2^{cm} langen Luftblase sucht man auch hier alle kleinen Luftblasen so viel als möglich zu entfernen; es bleiben trotzdem kleine Mengen von Luft da, so daß schließlich die Toricelli'sche Leere nicht vollkommen luftleer ist.

Nachdem man die gefüllte Röhre in das Quecksilbergefäß gebracht und aufgerichtet hat, befestigt man sie in einem Retortenhalter. In einem zweiten Retortenhalter klemmt man einen 10 bis 20^{cm} langen, oben zu einem Ringe gebogenen Eisendraht in senkrechter Stellung und so ein, daß das untere Ende desselben in das Quecksilber des Gefäßes taucht; ein genügend langes Kettchen hängt man mit einem Ende in diesen Ring ein und legt es mit dem anderen Ende an die Belegung der Flasche.

Sehr bequem zur Beobachtung des Durchgangs der Elektricität durch verdünnte Luft sind die **Geißler'schen Röhren**. Dies sind Glasröhren, in welche an beiden Enden Platindrähte luftdicht eingeschmolzen sind. Sie enthalten atmosphärische Luft oder andere Gase im äußerst verdünnten Zustande und sind vollkommen verschlossen, so daß sie jeden Augenblick zum Gebrauche bereit sind. Gewöhnlich sind diese Röhren nicht einfach gerade, sondern mit mancherlei kugelförmigen und anderen Erweiterungen versehn, um ihnen eine gefällige Form zu geben. Häufig sind in dieselben auch Theile von besonderen Glassorten eingesetzt, welche die Eigenthümlichkeit besitzen, im Lichte des elektrischen Funkens in eigenthümlichen Farben zu glänzen. Eine solche Röhre zeigt Fig. IV auf der Farbendrucktafel. Sie enthält einen kleinen Kelch (mit hohlem Stiele) aus **Uranglas**. Das Uranglas sieht im Tageslichte gelbgrün, bei Lampenlicht fast rein gelb; beim Lichte des elektrischen Funkens erscheint es prachtvoll maigrün. Die in die Röhren eingeschmolzenen Platindrähte sind außen zu Häkchen gebogen; in einen solchen Haken hängt man das Kettchen zur Verbindung mit der äußeren Flaschenbelegung; dem anderen Haken nähert man schnell aber vorsichtig (um nicht das dünnwandige Glas zu zerschlagen) den Knopf der geladenen Flasche.

Die Röhren werden entweder recht vorsichtig in einen Retortenhalter geklemmt oder — was weniger gefährlich ist — mit ihrem unteren Ende in die Höhlung eines eigens dafür bestimmten, hölzernen Fußes gesteckt. Die prächtigen Farbenerscheinungen, welche das elektrische Licht in diesen Röhren hervorruft, lassen sich nur sehr schwach durch ein Bild wiedergeben; am schönsten nimmt man sie wahr, wenn man die Versuche bei Abend in einem Zimmer anstellt, das durch ein ganz kleines Lämpchen nur soweit erhellt ist, daß man eben noch genug sieht, um die Apparate, mit denen man arbeitet, zu erkennen.

(Weiteres über die Geißler'schen Röhren siehe später bei der Induction.)

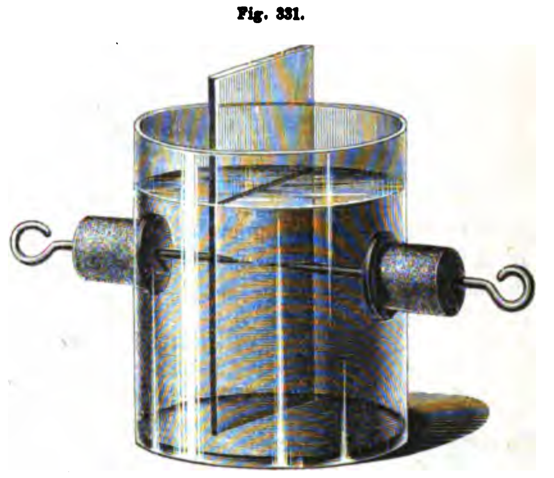
Die mechanischen Wirkungen des Entladungsstromes auf starre Körper sind am leichtesten zu beobachten an einem Blatt Papier, das man an die äußere Belegung einer geladenen Flasche anlegt. Auf die Mitte des Papiers setzt man die eine Kugel des Ausladers und nähert die andere schnell dem Flaschenkopf: die zwischen der äußeren Belegung und der Ausladerkugel befindliche Stelle des Papieres wird **durchbohrt**, manchmal von **einer** Oeffnung, manchmal von **mehreren**.

Hat man zum Laden der Flasche nur einen Elektrophor, so benutze man ein dichtes, aber nicht zu starkes Schreibpapier, etwa Briefpapier; in wenig dichtem Papier, z. B. in ungeleimtem Fließpapier sind die feinen Löcher, welche ein schwacher Funke hervorbringt, nicht zu erkennen. Hat man eine Elektrisirmaschine und eine große Flasche oder gar eine Batterie von etlichen Flaschen, so kann man damit starkes Papier, Spielkarten, Preßspahn oder eine ganze Lage Schreibpapier durchbohren. Den zu durchbohrenden Gegenstand stellt man aufrecht auf das Tischchen des allgemeinen Ausladers, schiebt die geraden Enden der Drähte von beiden Seiten her dagegen, so daß sie sich einander gerade gegenüber an den Gegenstand stemmen und

entladet schließlich die Batterie in der oben (beim Schmelzen des Stanniolstreifens) angegebenen Weise.

Mit Hülfe einer einzelnen, aber hübsch großen und recht dickglasigen Verstärkungsflasche gelingt es sogar, Glas zu durchbohren. Da die Elektricität nur schwer ihren Weg durch das sehr schlecht leitende Glas nimmt, so muß man erstens den Weg der Entladung dadurch ganz genau vorzeichnen, daß man zur Leitung der Elektricität zwei zugespitzte Drähte nimmt, die einander auf entgegengesetzten Seiten einer Glasplatte genau gegenüber stehen, zweitens muß man die Glasplatte möglichst dünn nehmen (ein Stückchen recht dünnes Fensterglas) und drittens muß man dafür sorgen, daß die Elektricität nicht von einem Leitungsdraht zum andern über den Rand des zu durchbohrenden Glases hinweggeht, entweder durch die Luft (als Ausstrahlung oder glänzender Funke) oder auch durch die auf der Glasoberfläche sitzende, leitende Schicht von verdichtetem Wasserdunste. Man hat zu diesem Zwecke Klumpen von Harz zu beiden Seiten der Glasscheibe aufgekittet und in diese die zugespitzten Drähte eingeschmolzen; besser ist es, die Glasplatte ganz mit einer isolirenden Flüssigkeit (Baumöl oder Petroleum) zu umgeben. Fig. 331 zeigt eine dazu dienende Vorrichtung. Ein kleines Trinkglas ist an zwei einander gegenüberliegenden Stellen durchbohrt; auf die Löcher sind Korke gekittet, durch welche die innen spitz gefeilten, außen zu Ringen gebogenen Messingdrähte hindurchgesteckt sind, die zur Leitung der Elektricität dienen; man achte darauf, daß die Spitzen der Drähte recht genau einander gegenüberstehen. Zwischen die Spitzen bringt man die zuvor etwas erwärmte Glasplatte, schiebt die Spitzen bis zur unmittelbaren Berührung der Glasoberfläche heran und füllt schließlich das Glas mit der isolirenden Flüssigkeit ziemlich voll. In die Ringe der Drähte werden zwei Kettchen gehängt, deren eines mit der äußeren Flaschenbelegung, deren anderes mit einem Knopfe des Ausladers verbunden wird. Da es für die Durchbohrung des Glases darauf ankommt, die Flasche so stark als irgend möglich geladen zu verwenden und da man beim Transport oder längerem Stehenlassen einer geladenen Flasche immer etwas von ihrer Ladung durch Ausstrahlung verliert, so stelle man die ganze Vorrichtung in unmittelbarer Nähe der Maschine zusammen. Die Flasche wird auf eine Unterlage von Brettern oder Büchern so aufgestellt, daß ihr Knopf die kleine Conductorkugel unmittelbar berührt; um die Flasche herum schlingt man dann ein Kettchen, das man mit dem freien Ende in den einen Ring der Durchbohrungsvorrichtung einhakt. Auch die Verbindung dieser Vorrichtung mit dem Auslader stellt man vor dem Laden der Flasche her; man hält dann den Auslader in der Linken, dreht die Maschine mit der Rechten, bis die Flasche so kräftig als möglich geladen ist und führt dann rasch den Auslader an den Knopf der Flasche. Gelingt der Versuch, so erhält die Glasplatte ein feines Loch, von dem gewöhnlich nach mehreren Seiten Sprünge auslaufen.

Fig. 331.

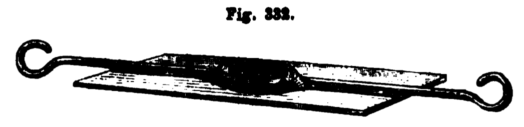


a. P. $^1/_2$ nat. Gr.

Die **Erschütterung tropfbarer Körper** durch den Entladungsstrom erfordert eine möglichst kräftige Ladung der verwendeten Flasche oder Batterie. Durch isolirende Flüssigkeiten ist eine Entladung fast gar nicht hindurch-

zubringen; gewöhnlich nimmt man zu den Versuchen Wasser. Leitet man den Entladungsstrom mit Hülfe zweier eintauchender Drähte durch Wasser hindurch, so bekommt man eine geschwächte, verzögerte Entladung, wenn die Enden der Drähte weit von einander abstehen, so daß die Elektricität einen längeren Weg im Wasser zu durchlaufen hat; das Wasser ist zwar ein ziemlich guter Leiter der Elektricität, leitet aber doch schon viel weniger gut als Metalle. Läßt man aber die beiden Drähte sehr nahe bei einander endigen, so springt zwischen ihnen unter dem Wasser ein Funke über; man erhält eine plötzliche Entladung, die das Wasser heftig erschüttert. Für eine nur mit dem Elektrophor geladene Flasche wendet man die Vorrichtung Fig. 332, für stärkere Ladungen die Fig. 333 an. In Fig. 332 trägt eine Glasplatte, die man in wagrechter Lage in den Retortenhalter spannt, zwei Dräthe mit Ringen; die geraden, rundlich befeilten Enden der Drähte sind nur $0^{mm},5$ von einander entfernt. Um die Enden der Drähte herum ist ein kleiner Wall von Siegellack gemacht, der ein flaches Gefäß bildet, das man mit Wasser füllt. Mit Hülfe zweier Kettchen und des Ausladers leitet man den

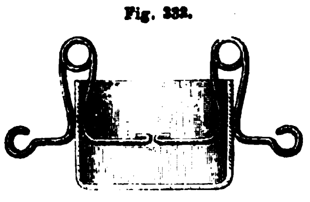
Fig. 332.



a. P. $^1/_2$ nat. Gr.

Entladungsstrom in bekannter Weise durch die Vorrichtung; kommt eine kräftige Entladung zu Stande, so wird ein Tropfen von dem Wasser ziemlich hoch emporgeschleudert.

Fig. 333.



$^1/_2$ nat. Gr.

Fig. 333 ist ein kleines Glasgefäß (ein Futternäpfchen, wie man sie in Vogelbauern verwendet), auf dessen Seitenwände zwei gebogene Drahtklemmen aufgesetzt sind; die umgebogenen Theile der Drähte im Gefäß sollen nur 1^{mm} von einander abstehen. Das mit Wasser gefüllte Gefäß kommt auf das Tischchen des allgemeinen Ausladers, dessen Stäbe man bis zur Berührung an die Drahtklemmen heranschiebt. Je nach der Stärke der Entladung erfolgt eine wellenförmige Bewegung oder ein theilweises Herausschleudern des Wassers; bei recht kräftigen Entladungen ist die Erschütterung des Wassers manchmal so heftig, daß sie das Glasgefäß zerbricht.

Für die Vorrichtung Fig. 332 macht man zuerst die Drähte zurecht; die geraden Enden werden mit der Schlichtfeile recht schön abgerundet. Die Glasplatte, welche anstatt viereckig, wie in der Figur, auch rund sein kann, wird soweit erwärmt, daß Siegellack darauf schmilzt; man macht in der Mitte einen kleinen Ring von Siegellack und von diesem aus nach entgegengesetzten Richtungen zwei gerade Streifen. Nachdem das Glas erkaltet ist, bringt man die Drähte auf, welche man soweit erwärmt hat, daß sie im Siegellack festschmelzen und trägt endlich von einer erwärmten Siegellackstange solange auf den Ring auf, bis dieser etwa 3^{mm} hoch geworden ist. Die Entfernung der Drahtenden mache man ja nicht größer, als angegeben; man erhält sonst keine kräftige Entladung.

Die Klemmen für die Vorrichtung Fig. 333 biegt man aus ungeglühtem Messingdraht in die aus der Zeichnung ersichtliche Form; sie sollen etwas federn, damit sie auf dem Glase festsitzen. Beim Aufstellen der Vorrichtung auf dem Auslader hüte

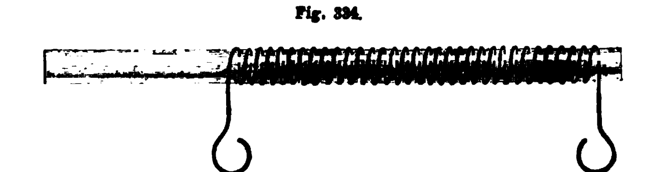
man sich, die passend aufgesetzten Drähte wieder zu verschieben; der Abstand derselben von einander darf auch für starke Ladungen nur klein sein.

Um die Erschütterung der Luft durch elektrische Funken zu zeigen, dient eine Vorrichtung, welche sich von der in Fig. 330 gezeichneten nur dadurch unterscheidet, daß die Drähte nicht durch ein Stanniolstreifchen verbunden, sondern so gebogen sind, daß ihre Enden ein wenig von einander abstehen (für kleine Flaschenentladungen 1 bis 2^{mm}, für größere etwas mehr). Beim Ueberschlagen eines mäßigen Funkens wird der Wassertropfen durch die erschütterte Luft in eine zitternde Bewegung versetzt, durch kräftigere Funken wird er aus dem Glasrohr herausgeschleudert.

Für kräftige Entladungen kann man auch den elektrischen Mörser zur Nachweisung der Lufterschütterung benutzen. Man bedeckt die Mündung des leeren Mörsers mit einem Kork von 10 bis 15^{mm} Höhe und einige Millimeter größerem Durchmesser, als der der Oeffnung ist; der Kork wird bei der Entladung durch die auseinander getriebene Luft etwas gehoben oder selbst ganz weggeschleudert.

Schließlich mag hier noch eine Wirkung der Elektricität Erwähnung finden, von der in einem späteren Abschnitt ausführlicher die Rede sein wird. Leitet man eine elektrische Entladung durch einen passend gewundenen Draht um eine Nadel von hartem Stahle, so wird dieselbe magnetisch, d. h. sie

Fig. 334.



nat. Gr.

erlangt die Eigenschaft, kleine Eisentheilchen (Feilspähne) anzuziehen und festzuhalten.

Eine Glasröhre, Fig. 334, wird mit einem Kupferdraht oder ausgeglühten Messingdraht spiralförmig umwunden, so daß die einzelnen Windungen (einige zwanzig) etwa 1^{mm},5 von einander abstehen; die herabhängenden Enden des Drahtes werden zu Ringen gebogen, in die man Kettchen zur Verbindung mit der äußeren Flaschenbelegung und dem Auslader einhängt. Den nicht umwundenen Theil der Glasröhre befestigt man im Retortenhalter, schiebt eine starke Nähnadel oder schwache Stopfnadel in den mit dem Drahte umwickelten Theil der Röhre und entladet die Flasche; nach der Entladung ist die Nadel magnetisch genug, um an ihren Enden einige Feilspähnchen zu tragen.

Da im Handel manchmal Nadeln vorkommen, die schon magnetisch sind, so prüfe man die Nadel, welche man benutzen will, vor dem Versuche, um nicht einer Täuschung zu unterliegen. Die Ladung einer Flasche mittelst des Elektrophors ist zu dem Versuche genügend.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Elektricität gutleitende Körper durchläuft, ist eine ganz außerordentlich große und dem entsprechend ist die Zeit, welche zu einer elektrischen Entladung erforderlich ist, eine außerordentlich kurze. Es ist nur mit Hülfe ganz besonders für den Zweck ersonnener

zusammengesetzter Vorrichtungen möglich, die unendlich kleinen Zeittheilchen zu messen, auf welche es hierbei ankommt. Eine auch nur oberflächliche Betrachtung dieser Messungen muß hier unterlassen werden; es mögen nur die Resultate derselben angegeben werden. Bei einem Versuche hat man gefunden, daß die Elektricität einer Verstärkungsflasche eine Drahtleitung von etwa 380^{m} in einer Zeit von ohngefähr 0,000 000,086 8 Secunden durchlief; dies würde für eine Secunde einen Weg von nahezu 4400 Millionen Metern oder etwa 60 000 Meilen ergeben. Die Geschwindigkeit der Elektricität ist je nach ihrer Spannung und nach der Natur und den Dimensionen des Leiters wahrscheinlich sehr verschieden, in allen guten Leitern aber immer eine sehr große.

Die Dauer des Entladungsfunkens hat man nicht größer als 0,000 14 Secunde und nicht kleiner als 0,000 02 Secunde gefunden. Daß die Dauer eine sehr kurze ist, kann man auf einfache Weise zeigen. Man läßt in einem möglichst wenig erhellten Zimmer von einem Gehülfen die Schwungmaschine mit der Scheibe Fig. 296 in möglichst geschwinde Drehung versetzen und beleuchtet die Scheibe durch einen Flaschenfunken, indem man die geladene Flasche in umgekehrter Lage über die Scheibe hält und mit Hülfe des gewöhnlichen Ausladers entladet: die schwarzen und weißen Viertel der Scheibe erscheinen im Augenblick der Entladung vollkommen scharf, wie schnell man auch die Maschine drehen möge.

Dauerte die Entladung so lange, wie die Scheibe braucht, um sich um den zwölften Theil eines Kreises zu drehen (etwa 0,008 Secunde), so würde man, da der Eindruck des Gesehenen im Auge einige Zeit dauert, jedes Viertel der Scheibe nicht nur an einem bestimmten Orte, sondern an allen Orten sehen, die es in dieser Zeit durchläuft, d. h. jedes Viertel würde um $^1/_{12}$ des Kreises oder um $^1/_3$ seiner eigenen Breite auseinander gezogen erscheinen, man würde also großentheils Schwarz und Weiß ineinanderfließend sehen. Daß man die Viertel ganz scharf erkennt, ist also ein Beweis, daß während der Dauer der Beleuchtung die Scheibe ihre Stellung gar nicht merklich ändert, daß also die Dauer des Funkens viel kleiner ist, als 0,008 Secunde.

Die Luft, welche die Erde umgiebt, ist fast immer etwas elektrisch; die Quelle dieser Luftelektricität oder atmosphärischen Elektricität ist noch nicht bekannt. Nachweisen läßt sich das Vorhandensein der Luftelektricität fast zu jeder Zeit ziemlich leicht mittelst eines Goldblattelektroskopes, das man mit einer Saugvorrichtung versieht. Man stellt sich mit dem Elektroskop im Freien auf an einem Orte, wo keine hohen Gegenstände (Bäume, Sträucher, Gebäude) in der Nähe sind, am besten auf einer kleinen Anhöhe. Hält man das Elektroskop mit ausgestrecktem Arm senkrecht über den Kopf, so kann man in der Regel nach kurzer Zeit eine Divergenz der Blättchen bemerken.

Als Saugvorrichtung kann man den auf S. 369 beschriebenen Kork mit Nadel benutzen; besser noch ist es, auf die Nadel ein 2^{cm} langes Stückchen Sprengkohle oder ein Räucherkerzchen aufzuspießen und dasselbe anzuzünden.

Bei klarem Wetter ist die Luft im Winter gewöhnlich stärker elektrisch, als im Sommer; dagegen sammeln sich vorzugsweise in der warmen Jahreszeit außerordentliche Mengen von Elektricität in den Wolken an, die sich gelegentlich durch ungeheure, elektrische Funken, die Blitze entladen. Entweder kommt ein Blitz zu Stande durch die Vereinigung der entgegengesetzten

Elektricität zweier Wolken, oder durch die Vereinigung entgegengesetzter Elektricitäten in einer Wolke und der darunter befindlichen Erde. Die Wirkungen des Blitzes sind außerordentlich viel großartiger, aber übrigens von ganz ähnlicher Art, wie die unserer kleinen, künstlichen Entladungen; leicht brennbare Körper werden dadurch entzündet, schlechte Leiter zertrümmert, gute Leiter, wenn sie dünn sind (Klingelzüge, Telegraphendrähte), zerschmolzen.

Gute Leiter von hinlänglicher Dicke (Eisenstäbe von 2 bis 4 Quadratcentimeter oder Kupferdrahtseile von 0,5 bis 1 Quadratcentimeter Querschnitt) werden von der Elektricitätsmenge eines Blitzes durchlaufen, ohne davon zerstört zu werden. Da nun die Elektricität ihren Weg immer nach den am meisten hervorragenden Körpern nimmt und, wenn verschieden gutleitende Körper nebeneinander liegen, vorzugsweise die bestleitenden durchläuft, so lassen sich Eisenstäbe oder Kupferdrahtseile benutzen als Blitzableiter, um Gebäude u. dergl. vor den zerstörenden Wirkungen des Blitzes zu schützen. Soll ein Blitzableiter seinen Zweck wirklich erfüllen, so muß er erstens genügend stark sein, um nicht selbst durch den Blitz zerstört zu werden, zweitens muß er über alle hervorragenden Theile des Gebäudes hinweggehen und drittens muß sein unteres Ende gehörig abgeleitet sein; er darf aber nicht in trockener Erde endigen, sondern muß womöglich bis zu einem Brunnen, einer Schleuse, einem Bache oder dergl. geführt sein.

B. Berührungselektricität oder Galvanismus.

48. Elektricität durch Berührung, galvanische Kette, galvanischer Strom. Außer den bis jetzt betrachteten Arten, Elektricität zu erzeugen (durch Reibung oder durch Vertheilung) giebt es noch eine andere Art der Elektricitätserregung, nämlich durch Berührung gewisser, verschiedener Stoffe. Die Entdeckung dieser Art, Elektricität hervorzurufen, wurde veranlaßt durch Beobachtungen von Galvani; nach ihm nennt man die so erregte Elektricität gewöhnlich Galvanismus oder auch nach ihrer Entstehungsweise Berührungselektricität (Contactelektricität). Ihrem Wesen nach ist dieselbe durchaus nicht verschieden von der durch Reibung hervorgerufenen, aber in Bezug auf die Menge Elektricität, welche sich auf einmal ansammeln läßt, und in Bezug auf die Menge, welche innerhalb einer gewissen Zeit erzeugt werden kann, weichen beide Arten sehr von einander ab und infolge dessen vermag die Reibungselektricität gewisse Erscheinungen viel leichter hervorzubringen, als der Galvanismus und umgekehrt sind die Wirkungen des Galvanismus durch Reibungselektricität nur schwer zu erzielen.

Taucht man in eine gutleitende Flüssigkeit zwei verschiedene Metalle, so wird das eine positiv, das andere negativ elektrisch. In der Berührung der Flüssigkeit mit den Metallen liegt eine eigenthümliche Kraft, welche die in den vorher unelektrischen Körpern verbundenen, entgegengesetzten Elektricitäten trennt; man nennt diese Kraft die elektromotorische Kraft. Sind die beiden Metalle Kupfer und Zink, die Flüssigkeit Wasser, so wird das Kupfer positiv, das Zink negativ elektrisch. Die Elektricitätsmenge, welche sich in den beiden Metallen ansammelt, ist eine ganz außerordentlich geringe; sie ist viele tausend mal kleiner, als zum Beispiel die Menge Elektricität eines ge-

riebenen Glasstabes, selbst dann, wenn die Metallstücke ziemlich groß sind. Da auf einem großen Raume sehr wenig Elektricität vorhanden ist, so besitzt sie auch nur eine ganz geringe Spannung; sie vermag nicht den kleinsten mit Luft erfüllten Raum zu überspringen, sie giebt also keine Funken. Will man sie unmittelbar an einem Elektroskop nachweisen, so muß dieses viel empfindlicher sein, als ein Goldblattelektroskop; solche sehr feine Elektroskope sind einerseits zu kostbar, andererseits von zu verwickelter Einrichtung, um hier berücksichtigt zu werden.

Um die durch Berührung von Kupfer und Zink mit einer Flüssigkeit erregte Elektricität so weit anzusammeln, daß sie sich am Goldblattelektroskop nachweisen läßt, bedarf man einer besonderen Ansammlungsvorrichtung, die gewöhnlich schlechthin **Condensator** genannt wird, während man die anderen Condensatoren (Verstärkungsflasche u. dergl.) mit besonderen Namen bezeichnet. Dieser Condensator besteht aus zwei runden Platten von Metall, welche auf den Flächen, die sie einander zukehren, sehr vollkommen eben geschliffen und mit einer ganz feinen, isolirenden Schellackschicht überzogen sind. Die untere ist auf einem isolirenden Träger befestigt, die obere mit einem isolirenden Stiele versehen; die Vorrichtung ähnelt also ganz der in Fig. 322 dargestellten, nur sind anstatt einer ziemlich dicken, über die Ränder der Metallplatten vorstehenden, isolirenden Schicht deren zwei ganz dünne vorhanden. Dieselben brauchen nicht über die Metallplatten vorzuragen, da bei den geringen Spannungen, um die es sich hier handelt, ein Ueberspringen von Funken nicht stattfinden kann.

Da die Anfertigung gut ebener Metallplatten ohne Drehbank kaum zu bewerkstelligen ist, verwenden wir zu einem Condensator ein Paar Platten von 8^{cm} Durchmesser aus starkem Fensterglas, die mit Stanniol überzogen werden. Die Platten werden ganz so hergestellt, wie die Adhäsionsplatten (S. 110). Sie brauchen nicht mit Pariser Roth polirt zu werden, dagegen verwende man einige Sorgfalt darauf, den Rand recht glatt abzurunden. Träger und Griff aus Siegellack werden wie bei dem Condensator Fig. 322 angekittet, und zwar vor dem Bekleben mit Stanniol, weil dieses bei der zum Anschmelzen des Siegellacks nöthigen Wärme sich ablösen würde.

Um beim Aufkleben des Stanniols das Siegellack nicht abzubrechen, legt man die Platten auf eine Unterlage mit einer Oeffnung, etwa auf den Ring eines Filtrirgestelles oder auf die Mündung einer weithalsigen Flasche. Auf jede Platte kommt eine Stanniolscheibe, deren Durchmesser 20 bis 25^{mm} größer ist, als der der Platte. Man achte darauf, daß weder am Glase noch am Stanniol Staubkörnchen hängen und auch im Kleister keine Knötchen sind, damit sich das Stanniol ganz glatt auf das Glas auflegt. Von der Mitte streiche man das Stanniol wiederholt nach allen Seiten; sobald es in der Mitte einigermaaßen fest liegt, fahre man mit dem Finger unter mäßigem Druck über den Rand weg und lege das Stanniol nach der Rückseite der Platte um. Nachdem der Rand ringsum umgebrochen und auf der Rückseite angeklebt ist, wiederhole man das Streichen mit dem Finger noch ziemlich oft unter allmählig stärkerem Druck, bis nicht mehr die geringste Menge von Kleister zwischen Stanniol und Glas herauszudrücken ist; dabei ist wesentlich, daß man nicht mehr **erst** von der Mitte aus nach allen Seiten bis in die Nähe des Randes und **dann** über diesen hinweg das Stanniol andrückt (wie es anfangs geschah), sondern daß man jedes mal von der Mitte aus in einem Zuge bis zu einer Stelle des Randes, über diese hinweg und nach der Rückseite der Platte bis an die Grenze des Stanniols fährt.

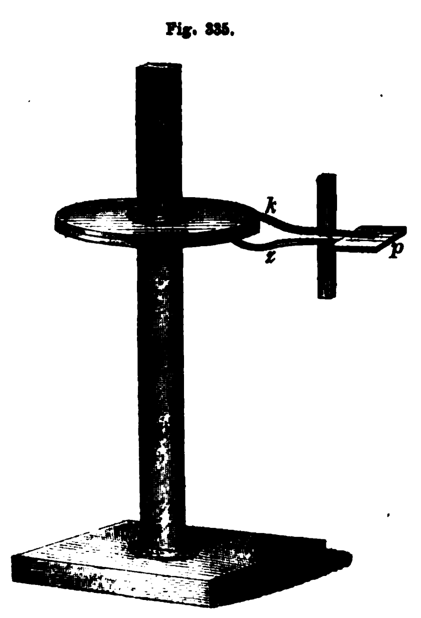
Nachdem die Vorderseiten beider Glasplatten auf diese Weise beklebt sind, klebt man noch auf jede Rückseite eine kreisförmige Stanniolscheibe, die 1^{cm} im Durchmesser kleiner ist, als die Glasplatte und in der Mitte einen runden Ausschnitt von etwa 3^{cm} Durchmesser hat, damit man sie über den Siegellackstiel wegschieben kann.

Die Lackschicht soll so dünn sein, als nur immer möglich. Am besten ist es, die Vorderflächen der mit Stanniol beklebten Platten ganz in der Weise mit dem klar abgegossenen Theile von Schellacklösung zu lackiren, wie es S. 353 für Glas angegeben ist. Dabei muß man aber ganz vorsichtig verfahren und die Platten nur oben soweit erwärmen, daß der aufgestrichene Lack trocknet, ohne matt zu werden; die geringste übermäßige Erwärmung treibt das Stanniol blasig auf, macht also seine Oberfläche uneben und das Ganze unbrauchbar. Leichter herzustellen, aber weniger gut, als der dünne Schellacküberzug ist ein möglichst gleichmäßiger und dünner Anstrich mit der S. 391 erwähnten, dicken Siegellacklösung; man muß ihn gewöhnlich ein oder zwei Mal (in Pausen von etwa 24 Stunden) wiederholen, ehe er gleichmäßig wird.

Der Rand der Platten soll mit lackirt sein, die Rückseite aber nicht. Zuletzt wird der Siegellackstiel der unteren Platte auf ein Brettchen gekittet.

Es wurde schon oben erwähnt, daß ein Stück Zink negativ, ein Stück Kupfer positiv elektrisch wird, wenn beide zugleich in eine leitende Flüssigkeit eingetaucht werden. Dasselbe geschieht, wenn man die Metallstücke nicht eintaucht, sondern sie auf andere Weise mit der Flüssigkeit in Berührung bringt. Das einfachste Verfahren, die Berührung herzustellen und andererseits die Metalle in Verbindung mit dem Condensator zu bringen, der ihre Elektricitäten auffammeln soll, besteht darin, daß man zwei 1cm breite, 6cm lange, etwas gebogene Streifen von Kupfer- und Zinkblech k und z, Fig. 335, mit Griffen von Siegellack versieht und sie mit den gebogenen Enden an die Condensatorplatten anlegt, während man zwischen die geraden Enden ein zwei- bis vierfach zusammengefaltetes Stückchen Fließpapier p legt, das mit Wasser oder noch besser mit Salzwasser getränkt ist. Salzwasser wirkt noch etwas besser als Wasser; das Papier hat mit der Elektricitätserregung nichts zu thun, es soll nur verhindern, daß die beiden Metalle sich unmittelbar berühren. Bei einer solchen Berührung würden nämlich die entgegengesetzten Elektricitäten der Metalle sich wieder vereinigen, anstatt nach den Condensatorplatten zu gehen. Es ist schon bemerkt worden, daß die elektromotorische Kraft, welche in der Berührung der Flüssigkeit mit den Metallen liegt, nur eine äußerst geringe elektrische Spannung hervorzurufen, nur ganz kleine Elektricitätsmengen auf den Metallstücken anzuhäufen vermag. Der größte Theil dieser kleinen Elektricitätsmengen geht nun bei der Berührung der Metallstücke mit den Condensatorplatten von ersteren auf letztere über und wird durch gegenseitige Anziehung gebunden. Sobald aber den Metallstücken Elektricität entzogen ist, ruft die elektromotorische Kraft neue hervor, diese geht wieder auf

Fig. 335.



a. P. ⅓ nat. Gr.

die Condensatorplatten über und so geht es fort, bis die Spannung auf diesen Platten (trotz der stattfindenden gegenseitigen Bindung) ebenso groß geworden ist, wie sie erst auf dem Kupfer und Zink war.

Es ist eine Eigenthümlichkeit der elektromotorischen Kraft, daß sie die geringe Elektricitätsmenge, die sie überhaupt zu erzeugen vermag, außerordentlich schnell wieder ersetzt, wenn sie weggenommen wird. Eine secundenlange Berührung des Kupfers und Zinkes mit dem Condensator ist mehr als genügend, diesen so stark zu laden, als überhaupt möglich ist.

Nach dem Laden des Condensators legt man das Kupfer und Zinkstück beiseite, hebt die obere Condensatorplatte an ihrem isolirenden Griffe recht gerade in die Höhe und berührt mit ihr den Knopf des Goldblattelektroskopes. Bei dem Auseinandernehmen der Condensatorplatten werden die vorher gebundenen Elektricitäten frei; die der oberen Platte theilt sich bei der Berührung dem Elektroskop mit und bewirkt eine Divergenz der Goldblättchen. Selbst die durch Ansammeln im Condensator verstärkte Berührungselectricität ist noch so schwach, daß sie die Blättchen nur wenige Millimeter auseinander zu treiben vermag. Ist, wie in der Figur angenommen, die obere Condensatorplatte mittelst des Kupfers geladen worden, so theilt sie dem Elektroskop positive Elektricität mit, wie man erkennt, wenn man dem Elektroskop einen geriebenen Glasstab nähert; dieser vergrößert die Divergenz der Blättchen. Die mit dem Zink in Berührung gewesene, untere Condensatorplatte erweist sich bei der Prüfung am Elektroskop negativ.

Diese Nachweisung der galvanischen Elektricität erfordert ziemliche Sorgfalt, weil die nachzuweisenden Elektricitätsmengen gar zu geringe sind. Bei Anstellung des Versuches achte man darauf, daß alles gut isolirt ist, insbesondere sehe man sich vor, daß von der Flüssigkeit, welche das Fließpapier enthält, nichts an die vorderen Enden der Metallstücke oder an die Siegellackgriffe kommt. Die mit Schellack oder Siegellack überzogenen Flächen der Condensatorplatten müssen ganz vollkommen trocken sein. Die obere Platte soll beim Abheben der unteren genau parallel bleiben; hebt man sie mit einem Rande auf, während sie am entgegengesetzten noch berührt, so kann an der Berührungsstelle eine Vereinigung der entgegengesetzten Elektricitäten durch die dünne Lackschicht hindurch stattfinden.

Um dem Elektroskop die Elektricität einer Condensatorplatte mitzutheilen, muß man den Knopf des Elektroskops mit dem nicht lackirten Stanniol in Berührung bringen; die obere Platte muß man also nach dem Abheben umdrehen, um ihre untere Fläche an den Knopf des Elektroskops bringen zu können. Zum Benetzen des Fließpapiers nimmt man eine Auflösung von einigen Körnchen Kochsalz in ein Paar Tropfen Wasser. Um nicht die Finger und durch diese die Siegellackgriffe naß zu machen, taucht man das trocken zusammengefaltete Papier mit der Pincette in die Salzlösung und bringt es auf das Zinkstück.

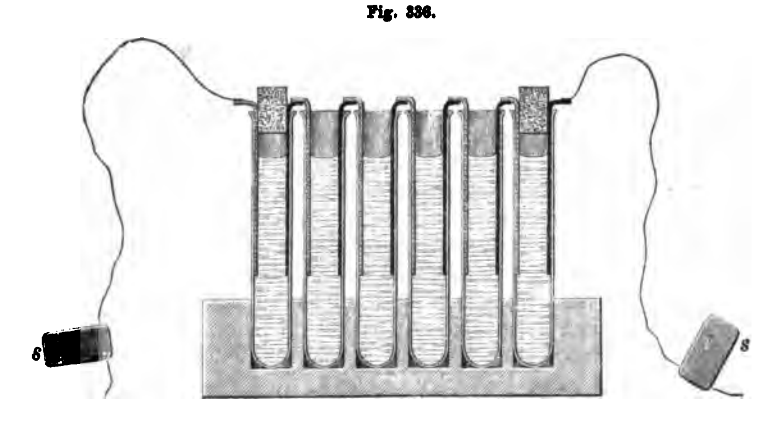
Eine zur Erzeugung von Elektricität dienende Zusammenstellung zweier Metalle mit einer leitenden Flüssigkeit heißt ein galvanisches Element oder eine einfache galvanische Kette; die beiden Metalle heißen die Pole des Elementes, und zwar das Kupfer der positive, das Zink der negative Pol. Außer Metallen können noch einige andere Stoffe zur galvanischen Erzeugung der Elektricität dienen, z. B. Kohle.

Durch geeignete Verbindung mehrerer Elemente erhält man eine zusammengesetzte galvanische Kette, auch galvanische Säule oder galvanische Batterie genannt. Bringt man das Zink eines galvanischen Elementes in leitende Verbindung mit dem Kupfer eines zweiten Elementes, so sind diese beiden Metalle nicht mehr elektrisch, dafür ist aber dann das Kupfer des ersten Elementes doppelt so stark positiv, das Zink des zweiten

Elementes doppelt so stark negativ elektrisch, als beim einfachen Element. Fig. 336 zeigt eine aus sechs Elementen zusammengesetzte Kette; bei dieser ist das Kupfer des ersten und das Zink des letzten Elementes sechs mal so stark elektrisch, als beim einzelnen Element. Der eine Pol je eines Elementes ist mit dem anderen Pole des nächsten Elementes zusammengelöthet; man nennt dann nur noch die äußersten Theile der ganzen Kette die Pole derselben.

Sechs ganz kleine Probirgläschen steckt man neben einander in mit dem Centrumbohrer gebohrte Löcher eines ziemlich dicken Brettchens. Aus dünnem Kupfer- und Zinkblech schneidet man je sechs 2 bis 3^{mm} breite, 5 bis 8^{cm} lange Streifchen und löthet fünf mal je einen Kupfer- und einen Zinkstreifen mit Weichloth an einander, so daß die Enden einige Millimeter übereinander liegen. Der sechste Kupfer- und Zinkstreifen, welche die Pole der Kette bilden sollen, bleiben einzeln; an jeden aber wird ein dünner, 15 bis 25^{cm} langer Kupferdraht angelöthet. An die Kupferdrähte befestigt man nahe am freiem Ende Stückchen von Siegellack, s s Fig. 336. Die zusammengelötheten Streifen werden so gebogen, wie aus der Figur zu erkennen ist

Fig. 336.



$^1/_2$ nat. Gr.

und derart in die Gläschen eingesetzt, daß sich in jedem Gläschen ein Kupfer- und ein Zinkstreifen befindet; die beiden einzelnen Streifen kommen in das erste und letzte Glas der Reihe. Die verschiedenen Metalle in einem Gläschen dürfen sich nicht berühren; in den mittelsten Gläschen kann keine Berührung vorkommen, wenn die Streifen richtig gebogen sind; in den äußersten verhindert man sie, indem man kleine Korke zwischen die beiden Streifen schiebt. Diese Korke dürfen nicht streng hineingehen, weil sie sonst die harten und eckigen Metallstücke zu stark an das dünnwandige Glas pressen und dieses zersprengen.

Als Flüssigkeit dient auch hier Kochsalzlösung; diese bringt man mit der Pipette vorsichtig in die einzelnen Gläschen, damit sie außen nicht naß werden.

Faßt man die isolirenden Siegellackstücke, welche sich an den an die Pole angelötheten Kupferdrähten befinden, mit den Fingern und führt die Enden der Drähte an die Platten des Condensators, so wird dieser sechs mal so stark geladen, als bei dem früheren Versuche; eine der Condensatorplatten bewirkt dann, wenn man sie an das Goldblattelektroskop bringt, schon eine starke Divergenz der Blättchen.

Wenn man die beiden Pole einer galvanischen (einfachen oder zusammengesetzten) Kette durch einen gutleitenden Körper verbindet oder, wie man sich ausdrückt: wenn man die Kette schließt, so strömen die entgegengesetzten

Elektricitäten durch diesen Leiter, um sich in ihm zu vereinigen. **Der galvanische Strom**, den man auf diese Weise erhält, ist außerordentlich viel schwächer, als der Entladungsstrom einer Verstärkungsflasche oder Verstärkungsbatterie. Während aber der Entladungsstrom nur wenige Hunderttausendelsecunden dauert, hält der galvanische Strom so lange an, als die Kette geschlossen ist, d. h. so lange, als die Pole der Kette leitend mit einander verbunden sind. Den Leiter, welcher die Pole verbindet, nennt man den **Schließungsbogen**. Jeder elektrische Strom, der Entladungsstrom sowol, wie der galvanische, ist eigentlich ein Doppelstrom; es strömt positive Elektricität in der einen und negative in der entgegengesetzten Richtung. Der Kürze wegen wird der positive Strom gewöhnlich kurzweg „der Strom" genannt, wenn es sich darum handelt, die Stromrichtung anzugeben; es gilt als selbstverständlich, daß immer zugleich ein entgegengesetzter, negativer Strom vorhanden ist. Von unserer Kupferzinkkette würde man sagen: „der Strom geht vom Kupferpol durch den Schließungsbogen nach dem Zinkpol", d. h. also, es strömt positive Elektricität vom Kupfer durch den Schließungsbogen nach dem Zink und negative vom Zink durch den Schließungsbogen nach dem Kupfer.

Da die durch Berührung erzeugte Elektricität eine sehr geringe Spannung besitzt, so vermag sie nur durch die besten Leiter mit Leichtigkeit hindurch zu gehen. Papier, Holz, die Haut des menschlichen Körpers und ähnliche Stoffe werden von dieser schwach gespannten Elektricität so wenig durchdrungen, daß sie sich ihr gegenüber geradezu wie Isolatoren verhalten; selbst das reine Wasser vermag sie kaum zu leiten. Außer den Metallen und der Kohle sind fast nur Salzlösungen und Säuren (Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure) — die letzteren entweder concentrirt oder mit Wasser verdünnt — als Leiter für den galvanischen Strom zu brauchen. Die salzigen und sauren Flüssigkeiten leiten die Elektricität schon viel besser, als reines Wasser, aber immer noch hunderttausend bis vielmillionen mal schlechter, als die Metalle. Unter allen bekannten Stoffen ist Silber der beste Leiter; ihm ziemlich nahe steht in der Leitungsfähigkeit das Kupfer. Zur Leitung des galvanischen Stromes verwendet man ganz vorzugsweise Kupferdrähte, weil diese außer ihrem guten Leitungsvermögen noch den Vortheil haben, daß sie sich ihrer Weichheit wegen leicht in jede gewünschte Form biegen. Da, wo solche Leitungsdrähte mit anderen Körpern in leitende Berührung gebracht werden sollen, müssen sie durchaus metallisch blank, frei von Grünspahn und anderen Unreinigkeiten sein, welche die Elektricität schlecht leiten; man muß deßhalb die Enden der zu galvanischen Versuchen dienenden Kupferdrähte häufig mit Smirgelpapier abreiben.

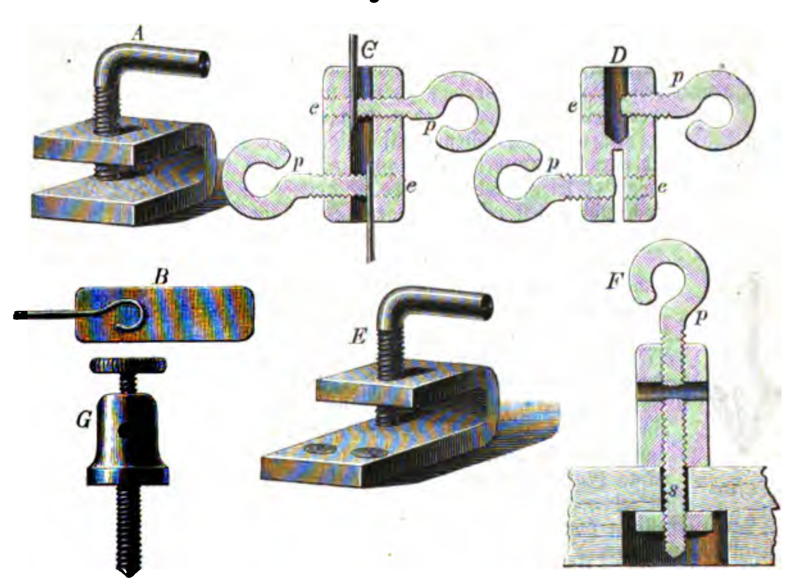
Ferner ist für eine gute Leitung des galvanischen Stromes erforderlich, daß die zu verbindenden Leiter fest und sicher aneinander angedrückt werden; ein bloses Aneinanderhängen, wie bei den Versuchen mit der stark gespannten Reibungselektricität, wirkt hier sehr störend. Deshalb befestigt man bei galvanischen Apparaten die Leitungsdrähte immer mit sogenannten **Klemmschrauben**.

Die Klemmschrauben können von sehr verschiedener Einrichtung sein, Fig. 337 zeigt eine ganze Reihe verschiedener Formen.

Am leichtesten herzustellen ist die Form Fig. 337 A. In ein 45^{mm} langes, 15^{mm} breites, 3^{mm} dickes Stück Messingblech bohrt man 8^{mm} von einem Ende ein Loch und schneidet mittelst des feinsten oder mittleren Bohrers, der zu unserer Schneid-

kluppe gehört, ein Muttergewinde in dieses Loch. Ein 3^{cm} langes Stück Draht von passender Dicke glüht man (wenigstens in der Mitte) aus und biegt es im Schraubstock mit Hülfe des Hammers rechtwinklig um; dann spannt man den Draht so in den Schraubstock, daß der eine Theil wagrecht zwischen den beiden Backen liegt, der andere senkrecht aus dem Schraubstock herausragt; auf diesen Theil schneidet man das zu der Mutter passende Gewinde. Das Blech bringt man in die aus der Figur ersichtliche Form, indem man den durchbohrten Theil desselben ohngefähr 18^{mm} weit in den Schraubstock spannt (und zwar zwischen Bleibacken, um das Gewinde nicht zu beschädigen), den vorstehenden Theil mit dem Holzhammer wagrecht umklopft und endlich das wieder aus dem Schraubstock genommene Blech über ein 5^{mm} dickes, flaches Stück harten Holzes zusammenhämmert. Diese einfachen Klemmschrauben kann man nicht unmittelbar zur Befestigung von Drähten verwenden, wenn man aber die


Fig. 337.



A, E a. P. A—G nat. Gr.

Enden seiner Leitungsdrähte mit angelötheten Kupferblechstückchen versieht, wie Fig. 337 B zeigt, und ähnliche Blechstreifchen an den übrigen in Betracht kommenden Apparaten anbringt, so lassen sich solche Klemmen recht gut brauchen; man legt die zu verbindenden Kupferstreifen auf einander, schiebt sie zwischen die Klemme und drückt sie durch Anziehen der Schraube aufeinander. Durch Ausglühen des zu der Klemme zu verwendenden Bleches kann man sich das Biegen etwas erleichtern, nur darf man dann beim Gebrauch die Schraube nicht gar zu stark anziehen, um das Blech nicht wieder auseinander zu biegen.

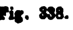
Die übrigen Klemmschrauben werden aus 10 bis 12^{mm} dickem Messingdraht gemacht, von dem man mit der Metallsäge (oder Bogenfeile) Stücke von passender Länge abschneidet; die Stücke werden durchbohrt, mit dem feinsten zur Kluppe passenden Gewinde versehen und endlich werden die nöthigen Schraubenspindeln aus Messingdraht verfertigt. Als Griff dient für diese Schrauben ein Ring, den man an den durch Ausglühen weich gemachten Draht biegt. Man spannt den Theil des Drahtes, der gerade bleiben soll, in den Schraubstock und giebt dem vorstehenden Ende durch Drücken mit der Drahtzange und Klopfen mit dem Hammer die nöthige Rundung.

In der Regel gelingt es nicht, den dicken Draht ganz zusammenzubiegen; man kann dann den Ring in der Weise flach hämmern, wie es beim Quetschhahn (S. 21) angegeben ist, damit er sich vollends schließt.

Fig. 337 C zeigt den Durchschnitt einer Klemmschraube, die zur Verbindung zweier Drähte dient; ein Loch, in das man diese Drähte einschiebt, ist der Länge nach durch das cylindrische Messingstück gebohrt; von beiden Seiten herein gehen die Schrauben zum Festklemmen der Drähte.

Fig. 337 D ist der Durchschnitt einer Klemmschraube, die zur Verbindung eines Bleches mit einem Drahte dient. Das Loch zur Aufnahme des Drahtes geht nur von einer Seite des Messingcylinders bis in die Mitte; zur Aufnahme des Bleches dient ein Schlitz, der vom andern Ende des Messingstücks etwa 12^{mm} tief mit der Bogenfeile eingeschnitten wird.

Zur Befestigung an Apparaten dienen die Klemmschrauben Fig. 337 E und F. E ist zum Einklemmen von Blechstreifen bestimmt und ganz ähnlich eingerichtet, wie A; nur ist der untere Theil des Bleches länger, um ihn mit zwei Holzschrauben befestigen zu können. Will man, wie es hier wünschenswerth ist, Holzschrauben mit flachen Köpfen gebrauchen, die nicht über das Messing vorstehen, so muß man die in dieses für die Schrauben gebohrten Löcher oben trichterförmig erweitern. Dies geschieht mittelst des Versenkfräsers, dessen kegelförmigen, mit Längsrinnen von dreieckigem Querschnitt versehenen Hauptheil Fig. 338 zeigt; das hintere Ende des Fräsers spannt man in die Bohrleier, setzt die Spitze des gerieften Kegels in das auszuweitende Loch und dreht unter mäßigem Druck auf die Bohrleier diese solange, bis die trichterförmige Vertiefung die gewünschte Größe erlangt hat.


Fig. 338.

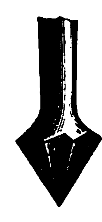
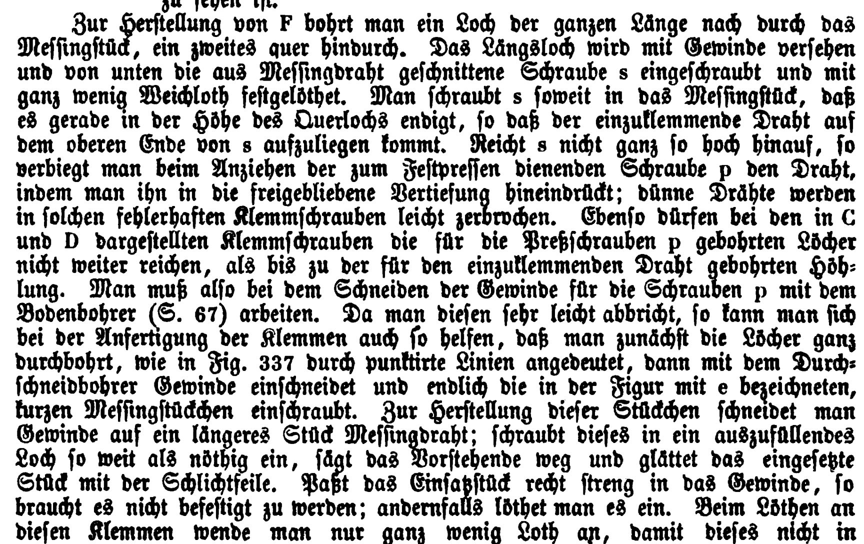

nat. Gr.

Fig. 337 F ist zum Einklemmen von Drähten bestimmt. Die Schraube zum Festklemmen des Drahtes geht von oben herein in das Messingstück; der Draht wird in das quer durchgebohrte Loch eingeschoben. Die unten angebrachte Schraube dient zur Befestigung des Messingstücks am Apparate. Entweder schraubt man sie fest in ein in Holz gebohrtes Loch wie eine Holzschraube ein, oder man bohrt in das Holz, auf welchem das Messingstück befestigt werden soll, von oben her ein Loch von solcher Weite, daß man diese Schraube durchschieben kann. von unten ein weites Loch mittelst des Centrumbohrers, das eine viereckige Mutter von 3^{mm} dickem Messingblech aufnimmt, wie in Fig. 337 zu sehen ist.

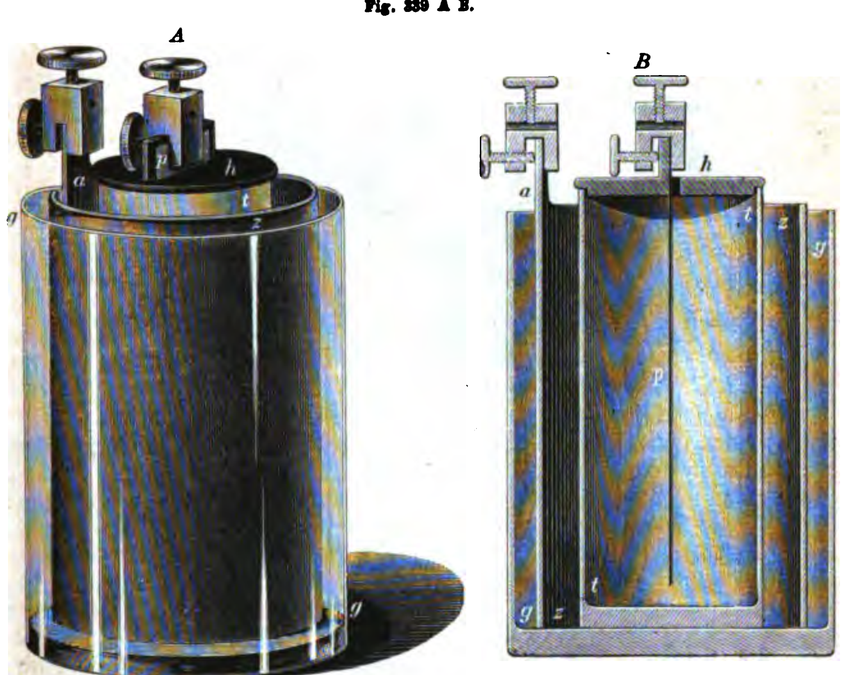


Zur Herstellung von F bohrt man ein Loch der ganzen Länge nach durch das Messingstück, ein zweites quer hindurch. Das Längsloch wird mit Gewinde versehen und von unten die aus Messingdraht geschnittene Schraube s eingeschraubt und mit ganz wenig Weichloth festgelöthet. Man schraubt s soweit in das Messingstück, daß es gerade in der Höhe des Querlochs endigt, so daß der einzuklemmende Draht auf dem oberen Ende von s aufzuliegen kommt. Reicht s nicht ganz so hoch hinauf, so verbiegt man beim Anziehen der zum Festpressen dienenden Schraube p den Draht, indem man ihn in die freigebliebene Vertiefung hineindrückt; dünne Drähte werden in solchen fehlerhaften Klemmschrauben leicht zerbrochen. Ebenso dürfen bei den in C und D dargestellten Klemmschrauben die für die Preßschrauben p gebohrten Löcher nicht weiter reichen, als bis zu der für den einzuklemmenden Draht gebohrten Höhlung. Man muß also bei dem Schneiden der Gewinde für die Schrauben p mit dem Bodenbohrer (S. 67) arbeiten. Da man diesen sehr leicht abbricht, so kann man sich bei der Anfertigung der Klemmen auch so helfen, daß man zunächst die Löcher ganz durchbohrt, wie in Fig. 337 durch punktirte Linien angedeutet, dann mit dem Durchschneidbohrer Gewinde einschneidet und endlich die in der Figur mit e bezeichneten, kurzen Messingstückchen einschraubt. Zur Herstellung dieser Stückchen schneidet man Gewinde auf ein längeres Stück Messingdraht; schraubt dieses in ein auszufüllendes Loch so weit als nöthig ein, sägt das Vorstehende weg und glättet das eingesetzte Stück mit der Schlichtfeile. Paßt das Einsatzstück recht streng in das Gewinde, so braucht es nicht befestigt zu werden; andernfalls löthet man es ein. Beim Löthen an diesen Klemmen wende man nur ganz wenig Loth an, damit dieses nicht in

Theile des Schraubengewindes läuft, worin sich später die Preßschrauben p drehen sollen.

Käufliche Klemmschrauben, die auf der Drehbank hergestellt werden, haben eine zierlichere Form; die Preßschraubenspindel hat bei ihnen als Griff nicht einen Ring,

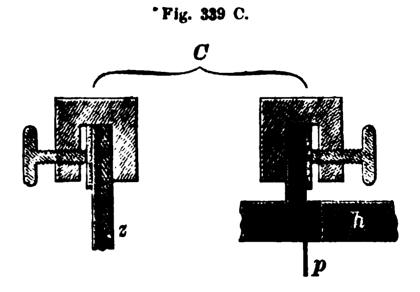

Fig. 339 A B.



A a. P. ½ nat. Gr. B ½ nat. Gr.

sondern einen flachen Kopf mit gerieftem Rande; Fig. 337 G zeigt eine solche käufliche Klemme.

Fig. 339 C.



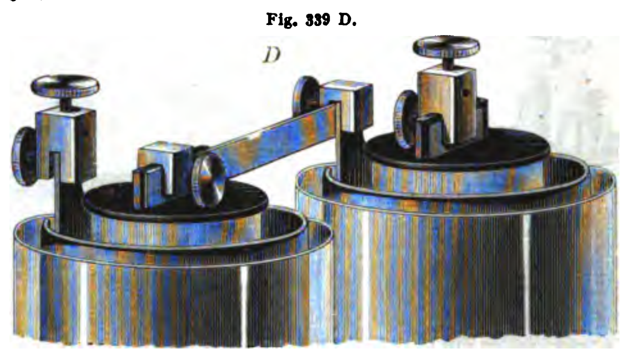
nat. Gr.

Für Versuche über den galvanischen Strom bedarf man gewöhnlich keiner besondern Isolirung der Leitungsdrähte; diese können ohne Schaden auf dem Tische aufliegen oder mit trocknen Händen berührt werden, ohne daß eine merkliche Elektricitätsmenge von ihnen abgeleitet wird. Nur wenn die Drähte selbst irgendwo einander bis zur Berührung nahe kommen, ohne daß an dieser Stelle Elektricität übergehen soll, muß man den Drähten eine isolirende Hülle geben; man umspinnt die Drähte dann mit Baumwolle oder Seide. Zur Isolation des galvanischen Stroms ist Baumwolle genügend, die Seidenumspinnung hat aber den Vortheil, dauerhafter und weniger dick zu sein; das Letztere ist von Wichtigkeit, wenn es sich (wie beim

Elektromagnet und beim Inductor, s. später) darum handelt, möglichst viel Draht in einen kleinen Raum zu bringen.

Eine Quantität von 100^{grm} unbesponnenen, 1^{mm},5 starken und 50^{grm} besponnenen, 0^{mm},6 (ohne Umspinnung) starkem Draht ist für die wichtigsten Versuche genügend; kann man mehr anschaffen, so nehme man auch eine Parthie besponnenen Draht von größerer Stärke.

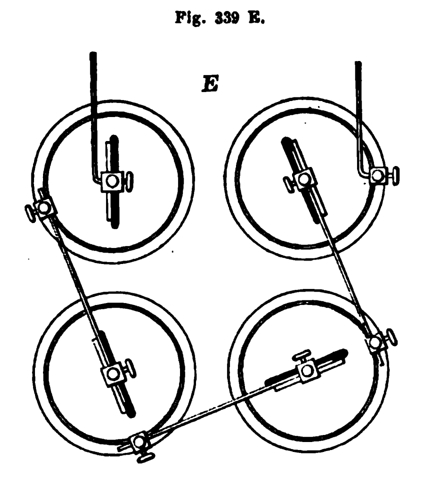
Fig. 339 D.



a. P. $^1/_2$ nat. Gr.

Der galvanische Strom, welchen unsere Kette von sechs kleinen Kupferzinkelementen giebt, ist sehr schwach. Andere Arten von Elementen vermögen beträchtlich stärkere Ströme zu geben, z. B. die Grove'schen und die Bunsen'schen Elemente. Beide Arten enthalten als negativen Pol Zink; als positiven Pol haben die Grove'schen Elemente Platin, die Bunsen'schen Kohle, und zwar eine sehr feste, dichte, gutleitende Kohle. Die beiden Polkörper befinden sich bei diesen Elementen in verschiedenen Flüssigkeiten; diese Flüssigkeiten müssen in leitender Berührung miteinander sein, dürfen sich aber nicht vermischen. Das erreicht man durch Anwendung eines dünnwandigen cylindrischen Gefäßes von schwach gebranntem, unglasirten Thon, einer sogenannten Thonzelle, welche man in ein größeres cylindrisches Gefäß von Glas oder glasirtem Steingut stellt. Die eine Flüssigkeit kommt in den Zwischenraum zwischen beiden Gefäßen, die andere in die poröse Thonzelle. Die Poren werden von beiden Seiten her mit Flüssigkeit erfüllt, im Innern der Thonzellenwandung berühren sich die Flüssigkeiten, ohne sich dabei merklich zu vermischen. Das Zink steht bei den Grove'schen und Bunsen'schen Elementen in verdünnter Schwefelsäure, das Platin oder die Kohle in concentriter Salpetersäure.

Fig. 339 E.



$^1/_4$ nat. Gr.

Auf die eigentliche Wirkungsweise dieser Elemente kommen wir weiter unten zurück; gegenwärtig soll nur soviel über sie mitgetheilt werden, als nöthig ist, um sie anwenden zu können zu Versuchen über die Wirkungen, welche der galvanische Strom hervorbringt. Die Form, Größe und Anordnung der einzelnen Theile ist bei

beiden Arten von Elementen in mannichfach verschiedener Weise ausgeführt worden; hier soll von jeder Art Element nur eine zweckmäßige Construction beschrieben werden.

Fig. 339 zeigt in A die äußere Ansicht, in B den Durchschnitt eines Grove'schen Elementes. Es ist gg ein starkwandiges Glasgefäß, tt die poröse Thonzelle; zz ist ein aus sehr starkem Zinkblech zusammengebogener oder aus Zink gegossener Cylinder, von dem bei a ein Fortsatz über den Rand des Glasgefäßes heraufgeht, auf welchen eine Klemmschraube aufgesetzt wird. Ein dünnes Blech von Platin p befindet sich in der Thonzelle, es ist oben an dem mit einem Schlitz versehenen Horngummideckel h angebracht. Neben dem Schlitz dieses Deckels erhebt sich nämlich eine kleine, senkrechte Platte von Horngummi, an diese wird der oberste Theil des Platinblechs angeschraubt. Soll ein einzelnes derartiges Element gebraucht werden, so kommen an das Zink und Platin die in Fig. 339 A und B gezeichneten Klemmschrauben, welche mit durchgebohrten Löchern zur Aufnahme der Leitungsdrähte und mit Preßschrauben zum Festklemmen derselben versehen wird. Werden mehrere Elemente zu einer Kette verbunden, so kommen derartige Klemmschrauben (Polschrauben) nur an das erste Platin und an das letzte Zink; die Verbindung zwischen Platin und Zink der verschiedenen Elemente erfolgt, indem man gerade Kupferblechstreifen mit Hülfe einfacherer Klemmschrauben an sie andrückt. Fig. 339 C zeigt den Durchschnitt durch die betreffenden Theile, D eine Seitenansicht zweier verbundener Elemente, E vier zu einer Kette verbundene Elemente von oben gesehen. Beim Festschrauben der Platinbleche darf die Schraube nicht auf das Platin kommen, um dasselbe nicht zu verderben. Soll eine Polschraube angesetzt werden, so kommt die Schraube auf die kleine Horngummiplatte zu stehen, das Platin aber an die glatte Innenfläche der Polschraube zu liegen; soll ein Kupferstreif befestigt werden, so legt man erst das Platin an die Horngummiplatte, dann den Kupferstreif auf das Platin und setzt die Klemmschraube so auf, daß die glatte Fläche am Horngummi anliegt und die Schraube auf das Kupfer drückt. Beim Zink kommt der Kupferstreif an die äußere Seite des vorstehenden Ansatzes.

Fig. 340.



a. P. $^1/_3$ nat. Gr.

Fig. 340 zeigt ein Bunsen'sches Element mit den Polschrauben; hier werden die Enden der anzusetzenden Leitungsdrähte umgebogen und zwischen das viereckige Metallstück und die Schraubenmutter eingeklemmt.

Die Kohle ist eine rechteckig vierseitige Platte von ziemlicher Dicke; die zu ihr gehörige Polschraube besteht aus zwei Theilen, einem zweimal rechtwinkelig gebogenen Bügel a und einer viereckigen Platte b, an welcher sich eine Schraubenspindel s befindet, die durch ein länglichrundes Loch des Bügels hindurchgeht und oben die geränderte Schraubenmutter m trägt. Will man diese Polschraube ansetzen, so löse man zuerst die Schraubenmutter m so weit, daß die Platte b beweglich wird, setze die Kohle ein, ziehe mit Daumen und Mittelfinger der Linken die Mutter m nach oben, so daß sich b dicht an den horizontalen Theil von a anlegt, während man zugleich mit den beiden letzten Fingern der Linken den Bügel a fest auf die Kohle aufdrückt und ziehe nun die Schraube p ziemlich fest an.

Aeußeres Gefäß, Zink und Thonzelle sind wie bei dem Grove'schen Element beschaffen, nur hat die Letztere keinen Deckel.

Wir wissen von früher, daß sich das Zink in verdünnter Schwefelsäure auflöst; während der Zeit, in welcher die Kette geschlossen und also ein galvanischer Strom

vorhanden ist, findet eine solche Auflösung des Zinkes bei jeder Art von Element statt, so daß sich das Zink allmählig verbraucht und schließlich ein mal erneuert werden muß. Man kann aber verhindern, daß sich das Zink auflöst, während die Kette offen ist und dadurch den Verbrauch des Zinkes ganz bedeutend verringern, wenn man das Zink amalgamirt, d. h. es oberflächlich mit einer Schicht einer Verbindung von Quecksilber und Zink versieht. Die Zinkcylinder der käuflichen Elemente bekommt man gleich amalgamirt; will man Zink selbst amalgamiren, so taucht man es kurze Zeit in verdünnte Schwefelsäure, gießt dann über einer geräumigen Schale (Schüssel oder Napf) einige Tropfen Quecksilber darauf. Ist das Zink von der Säure genügend rein gebeizt gewesen, so breitet sich das Quecksilber ganz von selbst darauf aus; anderenfalls reibt man mit einem in verdünnte Säure getauchten Läppchen das Quecksilber nach allen Stellen des Zinks. Die Cylinder müssen nicht nur außen, sondern auch innen gut amalgamirt sein. Das beim Amalgamiren ablaufende bringe man nicht zu dem Vorrath von reinem Quecksilber, sondern hebe es gesondert auf, weil es mit Zink verunreinigt ist. Frisch amalgamirtes Zink sieht schön gleichmäßig blank und silberweiß aus; beim längeren Stehen an der Luft wird es matt und grau und es zeigen sich darauf einzelne kleine Quecksilbertröpfchen; bringt man aber solch ergrautes Zink wieder in verdünnte Säure, so breitet sich das Quecksilber wieder gleichmäßig aus und macht das Zink wieder weiß, wenn auch nicht wieder blank.

Um sich von der Wirkung des Amalgamirens zu überzeugen, schneide man von dünnem Zinkblech zwei etwa 1^{cm} breite, 3^{cm} lange Streifen, amalgamire den einen davon und bringe sie in zwei zur Hälfte mit verdünnter Säure gefüllte Probirgläser; der nicht amalgamirte Streifen löst sich unter lebhafter Wasserstoffentwickelung in einiger Zeit ganz auf, während der amalgamirte sich nur ganz langsam mit einigen Gasblasen bedeckt und sich beliebig lange hält.

Amalgamirtes, aber an der Luft grau gewordenes Zink bewirkt, wenn man es in die Säure bringt, anfangs auch ein Aufbrausen, das aber nur so lange dauert, bis das Zink wieder weiß geworden ist.

Die verdünnte Schwefelsäure stellt man in der S. 151 angegebenen Weise dar. Man füllt mit Hülfe eines Trichters das äußere Gefäß, nachdem man die Thonzelle eingesetzt hat, mit der verdünnten Säure bis auf 2 bis 3^{cm} vom Rande an. Dabei muß man die Thonzelle mit einem Finger niederdrücken, weil sie sonst schwimmt und man also nicht erkennen kann, ob man die richtige Schwefelsäuremenge eingegossen hat. Die Thonzelle wird ebenfalls mittelst eines Trichters mit (roher) concentrirter Salpetersäure gefüllt und zwar bei Grove'schen Elementen vor dem Einbringen des Platinblechs, bei Bunsen'schen nach dem Einsetzen der bereits mit der Klemmschraube versehenen Kohle. Das untere Ende des Trichters halte man, ehe man denselben vom Elemente entfernt, einige Augenblicke innen an den Rand der Thonzelle, damit die abtropfende Salpetersäure nicht auf das Zink, die Klemmschrauben, die Leitungsdräthe oder Kupferstreifen oder in die verdünnte Schwefelsäure fällt. Die Metalltheile (ausgenommen das Platin) werden von der Salpetersäure angegriffen und die verdünnte Schwefelsäure verdirbt das amalgamirte Zink, wenn sie salpetersäurehaltig ist; hat man Salpetersäure verschüttet, so reinige man die davon betroffenen Metalltheile sofort durch Abwaschen mit Wasser und Abtrocknen und schütte die verunreinigte Schwefelsäure weg.

Die Schwefelsäure kann mehrere Stunden zur wirklichen Erzeugung eines Stromes dienen; da man beim Gebrauch der Elemente meist nur kurze Zeit die Kette geschlossen hat und sie dazwischen auf längere Zeit geöffnet ist, also kein Strom stattfindet, so läßt sie sich unter Umständen ziemlich lange benutzen. Beim Auseinandernehmen der Elemente kann man die Schwefelsäure in ihren Gefäßen lassen, wenn diese vor dem Umschütten gesichert stehen. Sobald sich beim Stehen aus der verdünnten Säure Krystalle (von Zinkvitriol) ausscheiden, ist es Zeit, sie wegzuschütten.

Die Salpetersäure kann weit länger dienen, als die Schwefelsäure. Beim Gebrauche färbt sich die anfangs fast farblose Flüssigkeit allmählig gelb, dann blaugrün und wird schließlich nach und nach wieder fast wasserhell. Wenn die Wiederentfärbung eingetreten ist, liefert sie nur noch einen schwachen Strom und wird weggeschüttet.

Die Salpetersäure verwandelt sich unter dem Einfluß des Stromes nach und nach in salpetrige Säure. Die salpetrige Säure ist ein gelbrothes Gas, das sich leicht und in großer Menge in Salpetersäure auflöst. Die Farbe der Lösung ist aber nur so lange gelb, als noch nicht sehr viel von dem Gase darin enthalten ist; bei stärkerem Gehalte ist sie blaugrün. Wird die Salpetersäure durch wiederholten Gebrauch schwächer, so findet eine Zersetzung der gelösten salpetrigen Säure statt: daher die schließlich eintretende Entfärbung.

Beim Gebrauche der Elemente entwickelt sich aus der Salpetersäure fortwährend gelbrother Dampf von salpetriger Säure, besonders wenn die Salpetersäure nicht mehr ganz frisch ist; diese Dämpfe sind der Lunge schädlich und bewirken ein sehr starkes Rosten metallener Gegenstände, mit denen sie in Berührung kommen. Man darf deshalb die Elemente nicht im Zimmer aufstellen; am besten setzt man sie vor das Fenster und führt die Leitungsdrähte in's Zimmer durch enge Löcher, die man in den untersten Theil des Fensterrahmens gebohrt hat oder klemmt zwischen den Fensterflügel und den Rahmen zwei $0^{mm},5$ dicke, 10 bis 12^{mm} breite, 10^{cm} lange Streifen von Kupferblech, an deren Enden man Dräthe zur weiteren Leitung nach den Elementen und nach dem Innern des Zimmers angelöthet hat. Natürlich dürfen die Drähte oder die Streifen der Leitung einander nicht berühren.

Will man Grove'sche Elemente nach gemachtem Gebrauch auseinander nehmen, so entfernt man zunächst die Klemmschrauben vom Zink, hebt dann die Horngummideckel sammt den daran sitzenden Klemmschrauben, Platinblechen und beziehentlich Kupferstreifen aus den Thonzellen (wobei man wieder das Platin am Rande der Thonzelle gut ablaufen läßt) und nimmt endlich die Theile durch Lösen der Klemmschrauben auseinander. Die Salpetersäure gießt man aus den Thonzellen durch einen geräumigen Trichter in die zur Aufbewahrung dienende Flasche zurück.

Beim Auseinandernehmen Bunsen'scher Elemente entfernt man die Klemmschrauben auch von den Kohlen, ehe man diese aus der Salpetersäure hebt. Die Zinkcylinder nimmt man zuletzt aus der Schwefelsäure.

Die Zinkcylinder, Klemmschrauben und beziehentlich die Horngummideckel und Kupferstreifen werden sofort nach dem Auseinandernehmen der Elemente mit reichlichem Wasser abgespült; die Zinkcylinder und Horngummideckel läßt man dann einfach abtropfen und von selbst trocknen, die Klemmschrauben und Kupferstreifen wäscht man ab, wischt sie oberflächlich mit einem Lappen ab und trocknet sie möglichst geschwind im Sonnenschein oder auf dem Ofen. Die Platinbleche der Grove'schen Elemente werden mit Wasser abgespült und auf einer glatten Unterlage mit einem weichen Tuche abgewischt. Die Kohlenplatten der Bunsen'schen Elemente und die Thonzellen müssen sehr sorgfältig gewaschen werden, wenn sie nicht verderben sollen. Man bringt sie mehrere Tage lang in Wasser, das man ziemlich häufig wechselt und läßt sie dann langsam trocknen; zeigt sich einige Zeit nach dem Trocknen auf der Thonzelle ein weißer (mehliger oder fein nadelförmiger oder filzartiger) Beschlag oder an den Kohlen ein Geruch nach salpetriger Säure, so ist dies ein Zeichen, daß sie noch nicht genug gewässert sind und man sie nochmals in Wasser bringen muß.

Hat man Gefäße (genügend große Töpfe) und einen passenden Ort, um die Thonzellen und Kohlen fortwährend unter Wasser liegen zu lassen, so ist dies das Bequemste; man braucht in diesem Falle nur nach jedesmaligem Gebrauche der Elemente das Waschwasser zu wechseln.

Um keine salpetrige Säure einzuathmen verrichtet man am besten die ganze Arbeit des Auseinandernehmens der Elemente im Freien oder mindestens am offnen Fenster; das Zurückgießen der Salpetersäure aus den Thonzellen in die Flasche — wobei die ärgste Entwickelung von salpetriger Säure stattzufinden pflegt — nehme man jedenfalls im Freien vor.

Die Flasche mit der gebrauchten Salpetersäure bewahre man womöglich an einem Orte auf, wo einige Säuredämpfe nichts schaden; es entwickelt sich nämlich aus ihr leicht salpetrige Säure, die von Zeit zu Zeit den Glasstöpsel der Flasche hebt und zum Theil entweicht; eine Flasche mit Korkstöpsel darf man nicht nehmen, weil dieser bald von der Salpetersäure zerstört wird und wenn er so fest sitzt, daß ihn die ent-

wickelte salpetrige Säure nicht herauszuheben vermag, ein Zerspringen der Flasche veranlassen kann.

Die Klemmschrauben, Kupferstreifen und die Enden der Leitungsdrähte, die infolge der Einwirkung der Säuren und Säuredämpfe stark anlaufen (Grünspahn ansetzen) müssen nach dem Waschen und Trocknen jedesmal mit etwas feinem Smirgelpapier geputzt werden.

Die Platinbleche der Grove'schen Elemente sind ziemlich dünn, weil das Platin einen hohen Preis hat; sie verlangen etwas sorgfältige Behandlung, um nicht zerrissen oder zerknittert zu werden; ein zerknittertes Blech glüht man aus und streicht es mit dem Fingernagel auf dem Tische glatt. Die Kohlenplatten der Bunsen'schen Elemente sind weniger empfindlich, sie haben aber den Uebelstand, daß sie ein langdauerndes Auswässern erfordern und daß dabei immer eine Quantität Salpetersäure verloren geht, die sich in ihre Poren hineingesaugt hat.

Die Kohlenplatten bestehen aus der dichten, fast steinharten Kohle, welche sich in den Retorten der Leuchtgasfabriken am oberen Theile der Wandung ansetzt (gewöhnlich, obwol nicht ganz richtig Gasgraphit genannt); man hat auch Bunsen'sche Elemente, bei denen ein hohler oder massiver Cylinder aus einer künstlich dargestellten Kohlenmasse anstatt einer Kohlenplatte dient. Da aber diese Kohlencylinder nicht so dicht sind, als die Platten und viel weniger gut das Aufsetzen und Abnehmen der metallnen Verbindungsstücke gestatten, so ist ihre Anschaffung nicht räthlich. Noch weniger zu empfehlen sind die vielerlei anderen Arten von Elementen, die man hergestellt hat um die mancherlei Unbequemlichkeiten der Grove'schen und Bunsen'schen Elemente zu umgehen oder eine größere Billigkeit zu erzielen; alle diese Elemente geben entweder einen schwächeren Strom (so z. B. die sogenannten Chromsäureelemente) oder sind noch lästiger (so die Zinkeisenelemente), als die oben genannten.

Zwei Grove'sche oder Bunsen'sche Elemente muß man haben, um die im Folgenden beschriebenen Versuche anstellen zu können; kann man mehr (4 bis 6) davon anschaffen, so lassen sich die Versuche in etwas größerem Maaßstabe anstellen.

Die Elemente kommen in sehr verschiedener Größe vor. Wenn der Schließungsbogen sehr lange und dünne Drähte oder schlechte Leiter (Flüssigkeiten) enthält — bei den Versuchen über chemische Zersetzungen oder über elektromagnetische Telegraphie mit langen Leitungen — so geben kleine Elemente fast dieselbe Wirkung wie große, besteht aber der Schließungsbogen aus dicken oder kurzen, gutleitenden Drähten — bei den Versuchen über Erwärmung, bei den Ampère'schen und den meisten elektromagnetischen Versuchen — so wirken große Elemente bedeutend kräftiger, als kleine.[70]

49. Wirkung des galvanischen Stroms auf Leiter; Erwärmung, chemische Zersetzung. Durchbohrungen und ähnliche Wirkungen, wie sie der Entladungsstrom bei schlechten Leitern hervorbringt, kann der galvanische Strom nicht verursachen, weil er wegen seiner geringen Spannung durch schlechte Leiter nicht hindurchgeht. Will man den galvanischen Strom durch den menschlichen Körper gehen lassen, so muß man die Stellen der Oberhaut, an welche man die metallischen Leiter anlegt, wenigstens mit Wasser oder besser mit Salzwasser befeuchten, um ihre Leitungsfähigkeit zu verbessern. Aber auch dann noch bekommt man keine merklichen Wirkungen auf die Gefühlsnerven, wenn man nicht den Strom einer Kette von ziemlich vielen Elementen anwendet. Dagegen reicht schon ein schwacher Strom hin, die sehr empfindlichen Geschmacksnerven der Zunge merklich zu erregen. Man setzt entweder die

[70] Für unsere Versuche, die immer nur in kleinem Maßstabe ausgeführt werden, genügen Grove'sche Elemente von 12^{cm} oder Bunsen'sche von 18^{cm} Höhe und für großartigere Versuche läßt sich keine allgemeine Vorschrift geben; welche Einrichtung man für diese der Kette zu geben hat, um die beste Wirkung auf die billigste Weise zu erhalten, läßt sich nur für jeden einzelnen bestimmten Fall unter Berücksichtigung der Länge, Dicke und sonstiger Beschaffenheit des Leitungsbogens nach zwei Gesetzen (dem Ohm'schen und dem Faraday'schen Gesetz) berechnen, deren Berücksichtigung hier unthunlich ist.

Enden der beiden Leitungsdrähte 5 bis 10mm weit voneinander auf die Spitze der Zunge oder legt den einen Draht quer über die Mitte der Zunge und berührt mit dem Ende des anderen die Zungenspitze. In letzterem Falle ist der Geschmack besonders an dem die Zungenspitze berührenden Draht recht deutlich. Während die Drähte an und für sich, wenn sie blank geputzt sind, ganz geschmacklos sind, erhält man, wenn man die Kette durch die Zunge schließt, die Empfindung eines beißenden Geschmacks. Die Empfindung ist an beiden Drähten etwas verschieden; der vom negativen Pole kommende Draht bringt einen sauren, der vom positiven kommende einen einigermaßen an Seifensiederlauge erinnernden Geschmack hervor.

Für diesen Versuch reicht der Strom der kleinen Batterie Fig. 336 hin; ebenso gut oder besser kann man zwei Bunsen'sche oder Grove'sche Elemente benutzen.

Erwärmungen von Metalldrähten sind durch den anhaltenden galvanischen Strom weit leichter zu bewirken, als durch den schnell vorübergehenden Entladungsstrom. Mit Ketten von vielen kräftigen Elementen kann man dicke und lange Metalldrähte zum Glühen, Schmelzen und Verbrennen erhitzen. Der Strom zweier mäßig großen Bunsenschen oder Grove'schen Elemente reicht aus, um einen einige Decimeter langen, 0mm,5 dicken Kupferdraht fühlbar warm zu machen. Legt man ein 2mm breites, 3cm langes Streifchen von Stanniol auf eine Holzunterlage und drückt zuerst den einen Leitungsdraht auf das eine, dann auch den anderen auf das andere Ende des Streifchens auf, so wird dieses soweit erhitzt, daß es an einer Stelle durchschmilzt; im Dunkeln kann man in der Regel auch bemerken, daß der im Schmelzen begriffene Theil unmittelbar vor dem Durchschmelzen zum Glühen kommt. Ein 0mm,2 dicker Eisendraht von 10cm Länge wird durch den Strom glühend, einer von gleicher Dicke und nur 4cm Länge kommt zum Schmelzen und beginnenden Verbrennen.

Daß die Spannung der galvanischen Elektricität zu klein ist, um in Form von Funken durch die Luft überzuspringen, ist schon bemerkt worden[71], man bekommt aber eine Art Funken, wenn man die beiden Leitungsdrähte soweit zusammenbringt, daß sie sich berühren und sie dann wieder voneinander entfernt; manchmal tritt schon beim Schließen der Kette ein Fünkchen auf, jedenfalls aber beim Oeffnen derselben. Wenn nämlich die Drähte sich nur in einer ganz kleinen Stelle berühren, so erwärmt die Elektricität diese beim Durchgang bis zum Verbrennen; das Fünkchen ist hier nicht glühende Luft, sondern brennendes Metall. Bei Anwendung von Kupferdrähten bekommt man ganz kleine, blaugrüne Funken; bei Anwendung eiserner Leitungsdrähte erhält man größere, strahlige, gelbrothe Funken: das Kupfer verbrennt bei genügender Hitze ruhig mit blaugrüner, das Eisen unter Umhersprühen mit gelbrother Farbe. Wendet man kupferne Leitungsdrähte an, drückt den einen auf den glatten, am Heft befindlichen Theil einer Schlichtfeile und streicht mit dem anderen leise über den gehauenen Theil der Feile, so daß derselbe immer nur die äußersten Spitzen der Feilenzähne berührt und diese erhitzt, so erhält man schöne, sternartige Funken von gelbrother Farbe mit einem winzigen, blaugrünen Punkt in der Mitte; es verbrennt dann Eisen und Kupfer zu gleicher Zeit.

---

[71] Wenigstens muß man Ketten von mehreren Tausenden von Elementen anwenden wenn man Funken haben will.

Bringt man zwei Stücke dichter, gutleitender Kohle in Verbindung mit den beiden Leitungsdrähten und läßt sie sich dann ganz leise berühren, so wird die Berührungsstelle äußerst lebhaft glühend; man erhält ein ganz kleines, aber sehr helles Lichtpünktchen. Mit Hülfe großer Batterien (von 40 bis 80 großen Bunsen'schen Elementen) kann man die sich berührenden Spitzen zweier Stäbchen von Kohle so stark glühend machen, daß sie ein Licht von blendendem Glanze ausstrahlen, wie man es auf keine andere Weise so hell erhalten kann. Dieses elektrische Kohlenlicht wird in manchen Fällen zu Beleuchtungszwecken (bei nächtlichen Bauten, auf Leuchtthürmen u. dergl.) mit großem Vortheile angewendet; freilich ist es ziemlich kostspielig, da es nicht nur einen starken elektrischen Strom, sondern auch künstliche Vorrichtungen erfordert, um die Kohlen, welche nach und nach verbrennen, in der erforderlichen Weise vorwärts zu schieben. Ein sehr starker elektrischer Strom reißt von den Kohlenstäbchen fortwährend feine Stäubchen los und führt sie zum andern Pole hinüber; besonders stark ist diese Fortführung durch den positiven Strom. Diese Kohletheilchen vermögen eine Art von Verbindung zwischen den beiden Stäbchen zu bilden, wenn man diese ein wenig von einander entfernt; in der That bringt man bei der Erzeugung des elektrischen Lichtes die Kohlespitzen nur einen Augenblick in Berührung und entfernt sie wieder etwas, sobald der Strom zu Stande gekommen ist.

Für unsere Versuche setzt man an die Pole der Kette kupferne Leitungsdrähte von nicht unter 1^{mm} Dicke; den dünnen Kupferdraht, den man erwärmen will kann man mit seinen Enden an die freien Enden dieser Drähte mit den Händen andrücken; besser ist es, ihn mit zwei Klemmschrauben zu befestigen, die man erst an den dünnen Draht, dann an die dickeren Leitungsdrähte anschraubt. Beim Glühen und Schmelzen des Eisendrahtes muß man jedenfalls Klemmschrauben benutzen, wenn man nicht Gefahr laufen will, sich die Finger zu verbrennen. Man setzt zuerst die beiden Klemmen an den Eisendraht, schraubt dann die eine an den einen kupfernen Zuleitungsdraht und drückt den andern Zuleitungsdraht mit der Hand an die zweite Klemme. Will man ein Stück von dem zum Glühversuch benutzten Eisendraht zum Schmelzversuch benutzen, so versäume man nicht, es vorher mit Smirgelpapier abzuputzen, weil es sich beim Glühen mit einer Schicht von Hammerschlag bedeckt, welche den galvanischen Strom nicht ordentlich leitet.

Um das glänzende Lichtpünktchen zwischen den Kohlen, das freilich bei Anwendung von nur zwei Elementen keine Idee von dem strahlenden Glanze eines eigentlichen Kohlenlichtes geben kann, zu erhalten, benutzt man am besten zwei 4 bis 5^{cm} lange Stücken eines solchen Stäbchens, wie sie für das Kohlenlicht in einer Länge von 15 bis 20^{cm} und einer Dicke von einigen Millimetern eigens angefertigt werden. Jedes Stäbchen wird an einem Ende mit 8 bis 10 dicht aneinanderliegenden Windungen von 1^{mm} starkem Kupferdraht umwickelt, den man erst ausglüht um ihn weich zu machen und dann mit Smirgelpapier wieder blank putzt. Ein 3 bis 4^{cm} langes Ende des umgewickelten Drahtes läßt man gerade, um es mittelst einer Klemmschraube an den Zuleitungsdraht zu befestigen. Die freien Enden der Stäbchen kann man spitz feilen, und die Spitzen aneinanderhalten; es ist aber ebenso gut, wenn man sie stumpf läßt und einfach zwei Ecken, wie sie gerade an den Stäbchen sind, in Berührung bringt — jedenfalls aber dürfen sich die beiden Kohlen nur ganz leise an einem Punkte berühren; sowie man sie aneinander drückt, daß sie sich inniger berühren und der Strom nicht mehr durch die allerfeinsten Hervorragungen hindurch zu gehen braucht, bekommt man nur eine ganz matte Rothgluth.

Allenfalls kann man anstatt der Kohlestäbchen zwei längliche Stücke von recht dichtem Kohk benutzen. Arbeitet man mit Bunsen'schen Elementen, so kann man auch blos mit dem vom Zinkpole kommenden Kupferdrahte die den positiven Pol bildende Kohle leise berühren, um das Glühen der Kohle an der Berührungsstelle zu sehen.

Auch tropfbare Leiter werden durch den Strom erwärmt; ist eine Kette von Grove'schen oder Bunsen'schen Elementen längere Zeit geschlossen, so erwärmen sich die in ihnen enthaltenen Flüssigkeiten, besonders wenn der Schließungsbogen durch einen nicht zu langen, dicken Draht gebildet ist.

Die merkwürdigste Wirkung des Stromes auf tropfbare Leiter ist die chemische Zersetzung derselben. Alle zusammengesetzten Flüssigkeiten, welche den elektrischen Strom überhaupt leiten, werden durch denselben zersetzt.

Durch Reibungselektricität sind solche Zersetzungen nur sehr schwierig, durch Galvanismus sehr leicht hervorzurufen; sie erfordern einen dauernden Strom, wenn sie deutlich wahrnehmbar sein sollen. Eine genaue Betrachtung dieser Wirkungen ist ohne chemische Vorkenntnisse nicht möglich; hier sollen nur ein paar Beispiele von solchen Zusetzungen angeführt werden, mit besonderer Berücksichtigung dessen, was für die chemischen Vorgänge in den Elementen wichtig ist.

Die chemische Zerlegung eines Stoffes durch den galvanischen Strom heißt Elektrolyse; die Leiter, mit deren Hülfe man den Strom durch die Flüssigkeit leitet, nennt man Elektroden, und zwar denjenigen, durch den der (positive) Strom in die Flüssigkeit eintritt, die Anode, den, durch welchen er aus- (der negative Strom ein-) tritt die Kathode.

Sehr leicht zu zersetzen ist in Wasser gelöstes Glaubersalz (schwefelsaures Natrium, schwefelsaures Natron). Glaubersalz kann man zusammensetzen aus Schwefelsäure und Natron; durch den galvanischen Strom läßt es sich wieder in diese beiden Stoffe zerlegen. Manche blauen Pflanzenfarbstoffe werden durch Schwefelsäure roth, durch Natron grün gefärbt, während das Glaubersalz sie unverändert läßt. Taucht man in eine durch einen solchen Farbstoff blau gefärbte Glaubersalzlösung zwei Streifen von Platinblech, welche mit den Leitungsdrähten einer Kette von (wenigstens) zwei kräftigen Elementen in Verbindung sind, so scheidet sich an dem die Anode bildenden Streifen Schwefelsäure, an dem die Kathode bildenden Natron aus; die blaue Flüssigkeit wird an der Anode roth, an der Kathode grün gefärbt. Entfernt man die Elektroden und mengt die Flüssigkeit wieder durcheinander, so verbinden sich die getrennten Stoffe und die blaue Farbe tritt wieder hervor.

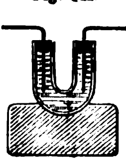
Die Eigenschaft, durch Schwefelsäure roth, durch Natron grün zu werden hat z. B. der Farbstoff in den Blüthen der Veilchen und der blauen Schwertlilien. Am einfachsten aber erhält man eine brauchbare Flüssigkeit aus einigen Blättern des als Gemüse häufig gebauten Rothkrautes. Man schneidet die Blätter klein, übergießt sie in einem Töpfchen mit soviel Wasser, daß sie gerade davon bedeckt werden und erhitzt bis zum Kochen. Die abgegossene Flüssigkeit filtrirt man durch Fließpapier und löst in ihr etwas Glaubersalz (5^{grm} in 50^{cc} auf). Gewöhnlich ist die so erhaltene Flüssigkeit ziemlich roth; durch Zusatz von ganz wenig Sodalösung muß man die blaue Farbe erst herstellen. Man löst ein erbsengroßes Stück Soda in einem Eßlöffel voll Wasser auf und bringt davon tropfenweise zu der gefärbten Lösung, bis diese blau geworden ist. Nach dem Zusatz jedes Tropfens rühre man die Lösung gehörig um. Ein Ueberschuß von Soda muß vermieden werden; eher lasse man die Flüssigkeit blauviolett, als daß man sie blaugrün macht.

Um den Einfluß der Schwefelsäure und des Natrons auf die farbige Flüssigkeit zu sehen, bringt man von Letzterer in zwei Probirgläser je einige Cubikcentimeter, gießt dann in das eine etliche Tropfen verdünnte Schwefelsäure, in das andere ein Paar Tropfen Natronlösung — die Flüssigkeit im ersten Gläschen wird schön roth, die im zweiten schön grün. Eine (nicht ganz reine) Lösung von Natron ist die zum Seifensieden jetzt gewöhnlich gebrauchte Lauge; anstatt der Natronlauge kann man für

vorliegenden Zweck auch Sodalösung nehmen; die Soda enthält Natron als einen Hauptbestandtheil und wirkt ganz eben so wie dieses auf die blaue Farbe.

Als Elektroden benutzt man Platin, weil außer Gold und Platin alle Metalle durch die bei der Elektrolyse auftretenden Stoffe angegriffen werden, sich theilweise auflösen und dadurch das Ergebniß des Versuchs stören. Will man sich damit begnügen, den Versuch im allerkleinsten Maßstabe zu machen, so biegt man ein Stückchen 2 bis 3^{mm} weites Glasrohr an einer Stelle so um, daß die beiden Schenkel ziemlich dicht nebeneinanderliegen, ritzt sie 6 bis 10^{mm} von der Biegungsstelle mit der dreikantigen Feile ein und bricht ab, so daß man ein ganz kleines U-förmiges Rohr bekommt, das man an seinem gebogenen Theile nochmals erwärmt und auf ein viereckiges Siegellackstück als Fuß kittet, Fig. 341. Zwei Stückchen Platindraht werden durch Klemmschrauben mit den Leitungsdrähten der kleinen Kette Fig. 336 verbunden und soweit, wie Fig. 341 zeigt, in das mit der blauen Flüssigkeit gefüllte Röhrchen eingetaucht; nach einigen Minuten erscheint die Flüssigkeit an der Anode roth, an der Kathode grün. Allenfalls kann man als Kathode einen Kupferdraht benutzen, da nur die an der Anode auftretende Schwefelsäure, nicht aber das an der Kathode ausgeschiedene Natron das Kupfer angreift.

Fig. 341.



nat. Gr.

Besser ist es, ein wenigstens centimeterweites U-förmiges oder V-förmiges, im Retortenhalter befestigtes Rohr, dessen Schenkel einige Centimeter lang sind, mit der Flüssigkeit zu füllen und als Elektroden zwei Platinblechstreifen von 4 bis 6^{mm} Breite und 3 bis 5^{cm} Länge zu benutzen. An die Bleche sind Platindrähte gelöthet und hakenförmig umgebogen, um sie, wie Fig. 342 zeigt, in das Rohr hängen zu können; die äußeren Enden der Dräthe werden durch Klemmschrauben mit den Leitungsdrähten der Batterie verbunden. Schüttet man die Flüssigkeit, nachdem sie einerseits deutlich roth, andererseits deutlich grün geworden ist, aus dem U-Rohr in ein Schälchen oder Gläschen und rührt sie um, so erhält sie wieder ihre ursprüngliche Farbe, indem sich die Schwefelsäure und das Natron wieder zu Glaubersalz verbinden.

Fig. 342.



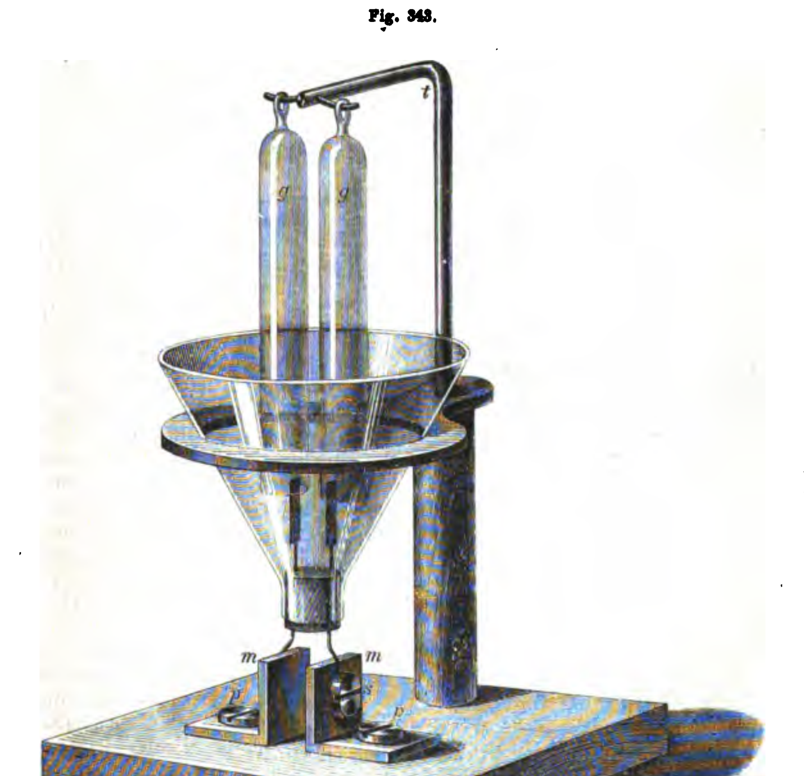
nat. Gr.

Will man von der blauen Flüssigkeit einen Vorrath aufbewahren, so fülle man dieselben in eine Flasche, setze einen Tropfen Carbolsäure zu, schüttele tüchtig um und verkorke die Flasche gut; die Carbolsäure verhindert das leichte Verderben der Flüssigkeit.

Das **Wasser** wird durch den Strom zerlegt in seine beiden Bestandtheile **Wasserstoff** und **Sauerstoff**. Da diese beiden Stoffe gasförmig sind, entwickeln sie sich in Form von Blasen, wenn man die Platinelektroden in Wasser taucht. Weil reines Wasser den Strom sehr schlecht leitet, benutzt man anstatt dessen verdünnte Schwefelsäure; die Schwefelsäure wird nicht mit zersetzt, wenn sie genügend verdünnt ist. Um die beiden Gase getrennt auffangen zu können, dient der in Fig. 343 dargestellte **Wasserzersetzungsapparat**. Der kurze Hals eines Glastrichters ist verschlossen durch einen Kautschukpfropf, durch den zwei Platindrähte hindurchgehen, welche oben Platinblättchen tragen und unten an die Messingstücke m m angeschraubt sind. Die Drähte sind durch die flachen Köpfe der Schrauben s angeklemmt; in derselben Weise werden die von der Batterie kommenden Leitungsdrähte mittelst der Schraubenköpfe p p befestigt. Zwei kleine Glasglöckchen g g, gewöhnlich mit Eintheilung in Cubicentimeter versehen, werden mit ver-

dünnter Säure gefüllt, mit dem Finger verschlossen, umgekehrt, in den gleichfalls mit verdünnter Säure gefüllten Trichter getaucht und schließlich mittelst kleiner, an ihnen angebrachter Glasringe an die Häkchen des Trägers t gehängt. Sobald der Strom geschlossen wird, steigen von den Platinblättchen Gasblasen auf und sammeln sich in den Glöckchen an; an der Kathode entwickelt sich Wasserstoffgas, an der Anode Sauerstoffgas, und zwar von letzterem halb so viel[72], als von ersterem. Sobald das eine Glöckchen mit Wasserstoff gefüllt ist, hebt man es aus der Flüssigkeit, kehrt es um und

Fig. 343.



a. P. $^1/_2$ nat. Gr.

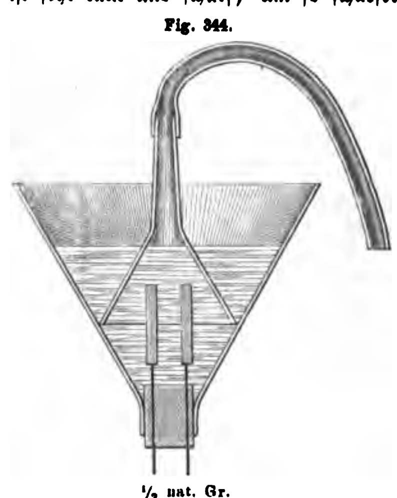
nähert ihm sofort ein brennendes Spähnchen; das Wasserstoffgas entzündet sich und verbrennt in Form eines kleinen, bei Tage kaum sichtbaren Flämmchens, das in der Röhre in dem Maaße hinuntergeht, wie das Gas verbraucht wird. Die Wasserzersetzung läßt man fortgehen, bis das zweite Glöckchen mit Sauerstoff gefüllt ist; dann hebt man das Glöckchen auch aus

[72]. Das Volumen des Sauerstoffs ist halb so groß, als das des Wasserstoffs; dem Gewichte nach ist die Sauerstoffmenge 8 mal so groß, als die Wasserstoffmenge, weil das specifische Gewicht des Sauerstoffs 16 mal so groß ist, als das des Wasserstoffs.

der Flüssigkeit und schiebt in dasselbe ein feines Spähnchen, das man entzündet und wieder ausgeblasen hat, so daß sich daran nur ein kleines glimmendes Kohlestückchen befindet; das Spähnchen fängt sofort an, wieder lebhaft zu brennen. Es ist ein Merkmal des Sauerstoffs, daß brennbare Körper in ihm viel lebhafter brennen, als in Luft.[73]

Fängt man die bei der Wasserzersetzuug entstehenden Gase gemengt auf, indem man anstatt der Glöckchen einen kleinen Trichter über die Platinblättchen bringt und auf den Hals dieses Trichters einen engen Kautschukschlauch schiebt, Fig. 344 (im Durchschnitt), so erhält man das **Knallgas**, welches beim Anzünden mit großer Heftigkeit verpufft. Will man dasselbe entzünden, so leitet man es mittelst des Kautschukschlauches in ein kleines, flaches (womöglich metallnes) Schälchen mit Seifenwasser und läßt sich ein Häufchen kleiner Blasen bilden, das man mit einem brennenden Spahn entzündet. Ehe man den Spahn nähert, muß man das Ende des Kautschukschlauches entfernt haben, sonst könnte sich die Entzündung bis in den Kautschukschlauch und den Trichter fortpflanzen und den Apparat zertrümmern. Der Knall ist sehr laut und scharf, um so schärfer, je kleiner die Blasen sind, aus denen das Häufchen zusammengesetzt ist; die Blasen werden um so kleiner, je enger der Kautschukschlauch ist. Will man mit einem weiten Kautschukschlauch kleine Blasen erhalten, so muß man die Mündung desselben fast ganz auf den Boden des Schälchens aufdrücken, so daß das Gas durch den schmalen Spalt zwischen Schlauch und Gefäßboden entweicht. Verzichtet man darauf, die beiden Gase einzeln anzusammeln und will nur das Knallgas auffangen, so kann dazu ein billigerer Wasserzersetzungsapparat, Fig. 345 A, dienen. Dieser enthält anstatt der Platinplättchen zwei viereckige Stücke von ganz dünnem Eisenblech, von denen Streifen durch den Kork herausgehen, die außen mit angelötheten Kupferblechstreifen oder Kupferdrähten versehen sind. In den Kork ist auch noch ein gebogenes Glasröhrchen eingesetzt, welches dient, das Knallgas in die Seifenlösung zu leiten. Die Bleche schneidet man in der aus Fig. 345 B ersichtlichen Form zurecht, bohrt in den Kork ein Loch für die Glasröhre und sticht mit einer Federmesserklinge zwei schmale Schlitze durch, wie Fig. 345 C zeigt, schiebt die Streifen der Eisenbleche von unten her durch diese Schlitze, löthet die Drähte oder Kupferstreifen mit Weichloth an, biegt die Eisenblechstreifen wagrecht um und setzt zuletzt die Glasröhre ein. Das Gefäß (ein niedriges Opodeldocglas) füllt man fast voll mit einer starken Auflösung von Kali (**Aetzkali**). Das Aetzkali kommt in Form dünner Stängelchen im Handel vor, die an der Luft schnell feucht werden und zerfließen, indem sie sich (unter Aufnahme von Feuchtigkeit und Kohlensäure) in Potaschenlösung verwandeln. Man löst die Kalistängelchen gleich nachdem man sie gekauft hat, in Wasser auf; etwa 10^{gr} davon in 50^{cc} Wasser (die Flüssigkeit erhitzt sich während der Auflösung) und bringt die Lösung in das zum Wasserzersetzungsapparat bestimmte Gefäß, und zwar mittelst eines Trichters, um den Hals

Fig. 344.



½ nat. Gr.

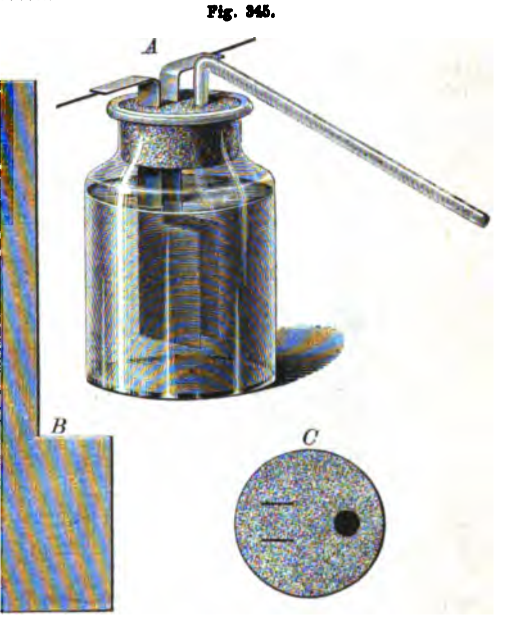
[73] Die Verbrennung der Körper ist nichts anderes, als eine Verbindung derselben mit Sauerstoff; die gewöhnliche Luft enthält in 100 Volumentheilen 21 Volumentheile (in 100 Gewichtstheilen 23 Gewichtstheile) Sauerstoffgas gemengt mit 79 Volumentheilen (73 Gewichtstheilen) Stickstoffgas — die Luft ist also gewissermaßen verdünnter Sauerstoff und kann darum keine so lebhafte Verbrennung bewirken, als reiner Sauerstoff.

des Gefäßes nicht zu benetzen. Dann setzt man den Kork auf und überzieht ihn mit Siegellack, das man in bekannter Weise mit Hülfe des Löthrohrs anschmilzt.

Man hüte sich, die Kalilösung an die Finger oder Kleider zu bringen, da sie die Haut angreift und Gewebe zerstört. Hat man doch etwas auf die Kleider gebracht, so wasche man die Stelle schnell mit Wasser aus und befeuchte sie dann noch etwas mit Essig, den man nach kurzer Zeit auch auswäscht.

Das in Kalilösung befindliche Eisen wird von dem durch den Strom ausgeschiedenen Sauerstoff nicht angegriffen, während sich in verdünnter Schwefelsäure das Eisen schon ohne die Wirkung des Stromes wie Zink auflöst. Die Kalilösung hat das Unangenehme, daß sie schäumt, es wird deshalb immer etwas von der Lösung mit fortgerissen und in das Näpfchen mit der Seifenlösung geführt, was aber weiter nichts schadet. Der Kork wird durch das Kali nach und nach zerstört und muß deshalb gelegentlich einmal erneuert werden.

Fig. 345.



A a. P. ⅔ nat. Gr., B, C nat. Gr.

Das Glasröhrchen des Apparates läßt man unmittelbar in das Seifenwasser tauchen; natürlich muß es sammt dem ganzen Apparat entfernt werden, ehe man die Knallgasblasen entzündet.

Wer empfindliche Ohren hat, öffne den Mund beim Entzünden des Knallgases, dann wirkt der Knall weniger heftig auf das Ohr.

Aus Flüssigkeiten, welche (schwere) Metalle, z. B. Gold, Silber, Kupfer und dergleichen gelöst enthalten, wird durch den galvanischen Strom das Metall an der Kathode abgeschieden, während derjenige Stoff, welcher mit dem Metall verbunden war, sich an der Anode abscheidet. Löst man Kupfervitriol (schwefelsaures Kupfer, schwefelsaures Kupferoxyd, vgl. S. 147) in Wasser auf und leitet den Strom durch die Lösung, so überzieht sich die Kathode mit einer glänzenden Schicht von Kupfer, während sich an der Anode die mit dem Kupfer verbunden gewesene Schwefelsäure ausscheidet.

Man benutzt für diesen Versuch als Elektroden die Platinblechstreifen, welche zur Elektrolyse des Glaubersalzes dienen, als Gefäß für die Kupfervitriollösung ein ganz kleines Becherglas oder ein Opodeldocglas, in das man die Elektroden so eintauchen läßt, daß sie 1 bis 2^{cm} von einander entfernt bleiben. Solange sich die Kathode in der blauen Flüssigkeit befindet, ist die rothe Farbe des Kupfers nicht sichtbar; will man diese sehen, so muß man das Platinblech aus der Flüssigkeit herausheben. Nachdem die Kathode gehörig mit Kupfer bedeckt ist, verwechselt man die Platinbleche, d. h. man macht das, was erst Kathode war, zur Anode und umgekehrt. Durch die Wirkung des Stromes bedeckt sich nun die neue Kathode mit Kupfer und das auf der früheren Kathode (der nunmehrigen Anode) vorhande Kupfer verschwindet nach und nach, indem es sich in der ausgeschiedenen Schwefelsäure auflöst.

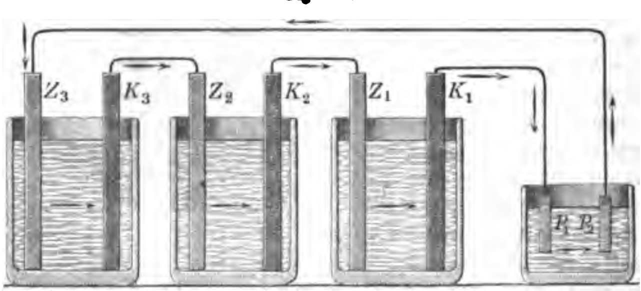
Eine Auflösung von 3^{gr} Kupfervitriol in ohngefähr 30^{cc} Wasser, wie man sie bei dem S. 147 beschriebenen Versuche erhält, ist zu der galvanischen Zersetzung ganz

gut brauchbar. Der Strom von zwei Grove'schen oder Bunsen'schen Elementen hat die für den Versuch passende Stärke; bei einem schwächeren Strome muß man zu lange warten, ehe eine deutliche Kupferausscheidung zu sehen ist; bei einem wesentlich stärkeren Strome erfolgt eine zu schnelle Ausscheidung des Kupfers; dieses setzt sich dann nicht in Form eines glänzenden Ueberzuges, sondern als dunkelrothbraunes bis schwarzes Pulver auf dem Platin ab.

Die eine Platinelektrode, welche nach dem Versuch mit Kupfer bedeckt ist, übergießt man in einem Probirgläschen mit Salpetersäure, an der sich das Kupfer bald auflöst und wäscht sie danach wieder ab.

So wie die Glaubersalzlösung, das angesäuerte Wasser und die Kupfervitriollösung, wenn man sie in den Schließungsbogen einer Kette einschaltet, eine Zersetzung erleiden, so werden auch die Flüssigkeiten der Elemente selbst durch die Wirkung des Stromes zersetzt. Fig. 346 soll eine Kette von drei Elementen vorstellen, jedes bestehend aus einem Stück Kupfer (K_1, K_2, K_3) und einem Stück Zink (Z_1, Z_2, Z_3), die paarweise in Gläsern mit angesäuertem Wasser stehen. K_1 ist der positive, Z_3 der negative Pol der Kette. Von K_1 und Z_3 gehen die Drähte nach den Elektroden p_1 und p_2, welche sich in einem Gefäße mit angesäuertem Wasser befinden. Der

Fig. 346.



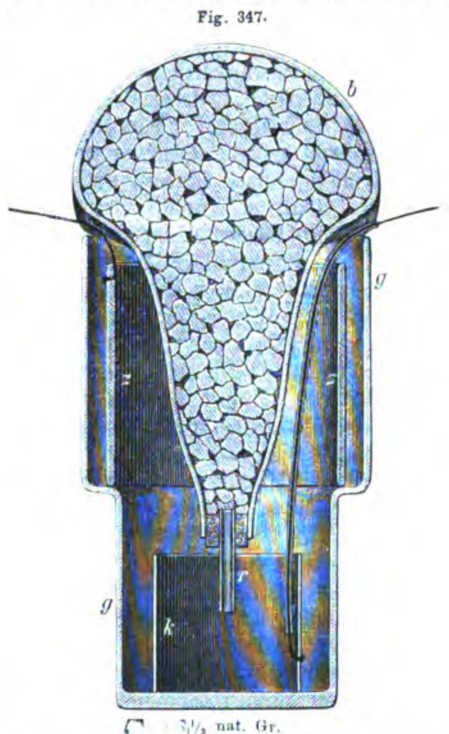
(positive) Strom geht von K_1 nach p_1, von da durch das Wasser nach p_2 und von da nach Z_3, er tritt also durch p_1 in das Wasser ein, durch p_2 aus dem Wasser aus; die mit dem Kupfer verbundene Platte p_1 ist also die Anode, die mit dem Zink verbundene Platte p_2 die Kathode; an der mit dem Kupfer verbundenen Platte scheidet sich also der Sauerstoff, an der mit dem Zink verbundenen der Wasserstoff aus.

Dagegen entwickelt sich aus der Flüssigkeit der Elemente der Sauerstoff am Zink, der Wasserstoff am Kupfer, denn in jedem Element bildet das Zink die Anode, das Kupfer die Kathode, die positive Elektricität geht aus dem Zink in die Flüssigkeit und aus der Flüssigkeit in das Kupfer, wie schon aus dem Früheren bekannt ist und wie sich auch ergiebt, wenn man die an den Leitungsdrähten in Fig. 346 durch Pfeile angedeutete Richtung des Stromes durch die Elemente der Kette hindurch verfolgt.

Der aus der Flüssigkeit am Zink der Elemente ausgeschiedene Sauerstoff entwickelt sich nicht oder nur zum allerkleinsten Theile in Blasen, er vereinigt sich vielmehr mit einem Theile des Zinks zu einer Verbindung, welche Zinkoxyd heißt und sich entweder in weißen Flöckchen abscheidet (so bei längerem Gebrauche der kleinen Batterie Fig. 336) oder in der Flüssigkeit auflöst, wenn dieselbe Säure enthält. Das Zink wird auf diese Weise nach und nach verbraucht, wie schon früher erwähnt wurde.

Sehr störend für die Wirkung der Kette ist die Ausscheidung des Wasserstoffs am Kupfer (oder am Platin oder der Kohle, wenn man diese Stoffe anstatt des Kupfers in einer Kette von der in Fig. 346 oder 336 dargestellten Einrichtung benutzen wollte). Theils scheidet sich der Wasserstoff in Blasen aus, theils verdichtet er sich zu einer feinen, auf der Oberfläche des Kupfers (des Platins, der Kohle) unsichtbar haftenden Schicht. Die Gasblasen hindern die ordentliche Berührung zwischen Kupfer (Platin, Kohle) und Flüssigkeit und der verdichtete Wasserstoff entwickelt in Berührung mit der Flüssigkeit eine elektromotorische Kraft, welche der des Kupfers gerade entgegengesetzt ist und einen Strom in entgegengesetzter Richtung von der hervorzurufen sucht, in welcher ihn die Kette liefert. Sobald also eine merkliche Ausscheidung von Wasserstoff stattfindet, wird die Wirkung der Kette bedeutend geschwächt und darum wirken die Ketten von der in Fig. 336 und 346 dargestellten Art nur in den ersten Augenblicken nach der Schließung des Stromes einigermaßen kräftig.

Fig. 347.



$\frac{3}{4}$ nat. Gr.

Soll ein Element andauernd gute Wirkung geben, so muß auf irgend eine Weise die Abscheidung des Wasserstoffs an dem den positiven Pol bildenden Theile verhindert werden. Solche Elemente, bei denen dieser Uebelstand beseitigt ist, heißen constante. Die constanten Elemente enthalten gewöhnlich zwei verschiedene Flüssigkeiten.[74] Die Grove'schen und Bunsen'schen Elemente sind solche constante; bei ihnen wird durch die Zersetzung der Salpetersäure nicht Wasserstoff, sondern die für die Wirkung der Kette unschädliche salpetrige Säure erzeugt.

Bei Kupferzinkelementen kann man zur Verhinderung der Wasserstoffausscheidung nicht Salpetersäure benutzen, weil diese das Kupfer sehr stark angreifen und in kurzer Zeit völlig auflösen würde. Es lassen sich aber constante Kupferzinkelemente herstellen, wenn man das Kupfer in eine Lösung von Kupfervitriol bringt. Aus Kupfervitriollösung scheidet sich, wie wir wissen, das Kupfer an der Kathode ab; da im Element das Kupfer die Kathode bildet, so wird sich dasselbe durch fortdauernden Ansatz von Kupfer also nach und nach verdicken, an seiner Wirksamkeit aber nichts verlieren.

Die zweckmäßigste Art der Kupferzinkelemente ist die Meidinger'sche.

[74] Einige seltener angewendete Arten von constanten Elementen enthalten außer den die beiden Pole bildenden Theilen eine Flüssigkeit und einen festen Körper, welcher den positiven Pol bedeckt und durch den Strom zersetzt wird.

Ein Meidinger'sches Element von der jetzt zumeist gebräuchlichen Form (sogenanntes Ballonelement) zeigt Fig. 347 im Durchschnitt. Das Glas g g, dessen oberer Theil weiter ist, als der untere, enthält unten einen aus ziemlich dünnem Kupferblech zusammengebogenen Cylinder k, oben einen gegossenen oder aus starkem Blech gebogenen, amalgamirten Zinkcylinder zz. Der Zinkcylinder steht entweder auf der Verengerung des Glases auf (wie in der Figur) oder er ist oben mittelst dreier seitwärts gebogener Ansätze in drei kleine Ausschnitte des Glases eingehängt. Das Zink befindet sich bei diesen Elementen nicht in verdünnter Schwefelsäure, sondern in einer Lösung Bittersalz (schwefelsaurem Magnesium, schwefelsaurer Magnesia) in Wasser. Die Kupfervitriollösung und Bittersalzlösung sind nicht durch eine poröse Zwischenwand (Thonzelle) getrennt, sondern nur durch die Verschiedenheit ihres specifischen Gewichtes; die schwerere Kupfervitriollösung nimmt den unteren, die leichtere Bittersalzlösung den oberen Theil des Glasgefäßes ein, so daß erstere den Kupfercylinder, letztere den Zinkcylinder bespült. Durch die Ausscheidung von Kupfer würde die Kupfervitriollösung verhältnißmäßig schnell schwach und unwirksam werden, wenn nicht der im Ballon b enthaltene Vorrath von festem Kupfervitriol auf lange Zeit die Lösung gesättigt erhielte. Beim Zusammensetzen des Elementes füllt man das Glas gg zu zwei Drittel mit einer Lösung von 140 gr Bittersalz in 1 Liter Wasser; der Ballon wird mit erbsen- bis haselnußgroßen Kupfervitriolstücken gefüllt. Dazu stellt man ihn mit einem oberen, runden Theile auf eine kreisrunde Oeffnung (eines Topfes, einer Pappschachtel oder dergl.), damit er nicht umfällt und gießt noch Bittersalzlösung hinein, die alle Zwischenräume zwischen den Kupfervitriolstücken erfüllt, setzt mittelst eines Korkes das Glasröhrchen r ein, kehrt ihn um und bringt ihn mit der Oeffnung abwärts in das Element. Das Glasrohr r hat den Zweck, die Mündung des Ballons soweit zu verengen, daß nicht Luft und Flüssigkeit darin neben einander vorbeigehen, damit sich der Ballon beim Umkehren nicht von Flüssigkeit entleert; zugleich dient es auch als eine Verlängerung des Ballonhalses; es soll etwa in der Hälfte der Höhe des Kupfercylinders endigen. Die Flüssigkeit im Ballon nimmt außer dem Bittersalz, welches sie schon enthält, noch beträchtliche Mengen Kupfervitriol auf, sie wird dadurch schwerer, als die im Glase gg befindliche Bittersalzlösung und nun beginnt ein Austausch der beiden Flüssigkeiten; die schwerere, kupferhaltige fließt in einem dünnen Strahle durch r aus, während gleichzeitig die leichtere Bittersalzlösung in einem zweiten Strahl durch r in den Ballon geht, um sich da auch mit Kupfervitriol zu sättigen. Der Austausch geht so lange fort, bis die unterhalb der Oeffnung von r befindliche Flüssigkeit gesättigte Kupfervitriollösung geworden ist. Wird sie beim Gebrauch des Elementes dünner und leichter, so beginnt wieder der Austausch; sie wird durch gesättigte Lösung aus dem Ballon ersetzt und steigt selbst in diesen, um sich von neuem zu sättigen.

An den Kupfer- und Zinkcylinder sind Kupferdrähte angeniethet und zugleich noch angelöthet, welche zur Leitung des Stroms (beziehentlich zur Verbindung mehrerer Elemente unter einander) dienen; der vom Kupfer kommende Draht ist mit einer Hülle von Guttapercha umgeben, um ihn vor der Berührung mit der Flüssigkeit zu schützen; der aus dem Elemente herausgehende Theil des Drahtes ist natürlich frei von Guttapercha. Der Ballon hat an dem Theile, mit dem er sich auf den Rand des Glases aufsetzt, ge-

wöhnlich an zwei einander gegenüberliegenden Stellen einen rinnenartigen Eindruck; durch diese Rinnen gehen die Leitungsdrähte heraus.

Der Strom, welchen die Meidinger'schen Elemente geben, ist schwach; zu Versuchen über Erwärmung ist er gar nicht und zu chemischen Zersetzungen nur wenig geeignet. Dagegen ist er sehr brauchbar zu telegraphischen und ähnlichen Zwecken (siehe später), welche einen schwachen, aber lange andauernden Strom erfordern. Wenn die Kette ununterbrochen geschlossen ist, so können solche Elemente 1 bis 2 Monate einen ziemlich gleichbleibenden Strom geben; ist die Kette nur von Zeit zu Zeit geschlossen, wie es z. B. bei den elektrischen Haustelegraphen der Fall ist, so können sie 1 bis 2 Jahre in Wirksamkeit bleiben.

Das Einsetzen der Ballons in die Elemente nehme man an dem Orte vor, wo die Elemente aufgestellt werden sollen, damit man sie danach nicht mehr fortzubewegen braucht, weil sich sonst die getrennten Flüssigkeiten leicht vermischen. Zur Aufstellung am geeignetsten ist ein Ort, an dem die Temperatur nicht schnell wechselt, also ein ungeheiztes Zimmer. Stehen die Elemente Monate lang, ohne gebraucht zu werden, so steigt allmählig etwas Kupfervitriol durch Diffusion (vgl. S. 147) in der Bittersalzlösung auf und erreicht schließlich das Zink, von dem sie unter Ausscheidung von Kupfer chemisch zersetzt wird, es bildet sich dann auf dem Zink ein braunschwarzer, breiiger Niederschlag von Kupfer, der für die gute Wirkung schädlich ist. Ist aber der Strom dauernd oder auch nur von Zeit zu Zeit einmal geschlossen, so findet kein solches Aufsteigen des Kupfervitriols statt; der Strom führt denselben immer wieder nach dem die Kathode bildenden Kupfer, also nach unten. Man lasse also eine Kette von Meidinger'schen Elementen nicht allzulange ununterbrochen geöffnet, sondern schließe sie, wenn man sie nicht braucht, von Zeit zu Zeit einmal auf ein paar Stunden.

Fig. 348.



$^1/_3$ nat. Gr.

Anstatt der eigentlichen Meidinger'schen kann man eine noch etwas einfachere Art Elemente anwenden, die nur etwas mehr Abwartung braucht als jene. In ein cylindrisches Glas, Fig. 348 (Einmacheglas oder recht großes Wasserglas), hängt man einen Cylinder aus 2 bis 3^{mm} dickem Zinkblech, der etwa 1^{cm} im Durchmesser kleiner ist, als die Oeffnung des Glases und halb so hoch, als dieses. Den Cylinder läßt man sich beim Klempner machen; am oberen Rande bohrt man in gleichen Abständen drei Löcher von $1^1/_2$ bis 2^{mm} Weite durch, in die man starke Messing- oder Kupferdrähte befestigt zum Aufhängen des Cylinders. Man schiebt den durch Ausglühen weich gemachten Draht durch das Loch, biegt ihn um, wie in Fig. 348 bei c zu erkennen und löthet ihn mit Weichloth fest. Zwei von den Drähten, welche nur den Zinkcylinder zu halten haben, können ziemlich kurz sein, den dritten (a in Fig. 348) läßt man etwas länger, um ihn zur Leitung des Stromes, beziehentlich zur Verbindung der Elemente unter einander zu brauchen. Nach dem Anlöthen der Drähte wird der Zinkcylinder amalgamirt. Das Kupfer wendet man in Form eines dünnen, kreisrunden Bleches an, welches 2 bis 3^{cm} im Durchmesser kleiner ist, als die Oeffnung des Gefäßes. Ist der Boden des Gefäßes nicht eben, so versieht man das Kupferblech mit einem vom Rande bis nach dem Mittelpunkte gehenden Schnitt und biegt

es so, daß es einen flachen Kegel bildet (wie in Fig. 348) und die Ränder des Schnittes ein Stück übereinandergreifen. In der Mitte des Kupfers wird ein Draht b mit Weichloth angelöthet; nach dem Wegwaschen des Löthwassers trocknet man ihn ab und erwärmt ihn, bis Siegellack darauf schmilzt und umgiebt den senkrechten Theil desselben mit einer dünnen Schicht von Siegellack; der umgebogene, wagrechte Theil bleibt von Siegellack frei. Nachdem man die Metalltheile in das Glas eingesetzt und dieses mit Bittersalzlösung gefüllt hat, wirft man eine Hand voll Kupfervitriolstücke hinein, die auf dem Boden sich zum Theil auflösen und eine dunkelblaue Schicht gesättigter Lösung geben; fängt, nachdem die Krystalle verbraucht sind, diese Schicht an hellblau zu werden, so bringt man wieder einige Krystalle zu.

Unmittelbar nach dem Zusammensetzen wirken Meidinger'sche Elemente gewöhnlich sehr schwach, sie müssen eine oder zwei Stunden (am besten bei geschlossener Kette) stehen, ehe sie ihre volle Wirksamkeit erlangen.

Sind die Elemente nach langem Gebrauche unwirksam geworden, so nimmt man sie auseinander und sieht, ob die Zinkcylinder noch zu brauchen sind, was selten der Fall ist. Meist ist das Zink so dünn und löcherig geworden, daß es zerbricht, wenn man es zu reinigen versucht. Bleibt aber nach dem Abkratzen der Unreinigkeit, die sich gewöhnlich am Zink findet, noch ein hinlänglich starker, fester Cylinder übrig, so reinige man ihn gut mit einer scharfen Bürste und verwende ihn noch ein mal, nachdem man ihn nöthigenfalls neu amalgamirt hat. Im unteren Theile des Gefäßes findet sich beim Auseinandernehmen eine Menge Kupfer, theils in Form eines braunen Schlammes, theils als dichter, glänzender Ueberzug des Kupferblechs. Durch Hin- und Herbiegen des Blechs blättert sich der Ueberzug von diesem ab; nachdem man ihn möglichst entfernt hat, giebt man dem Blech wieder die ursprüngliche Form. Wo viele Meidinger'sche Elemente in Gebrauch sind (auf Telegraphenbureaux), wird das abgeschiedene Kupfer gesammelt und verkauft, es deckt ohngefähr die Kosten des verbrauchten Kupfervitriols; im Kleinen wird man dasselbe jedoch kaum verwerthen können. Da sich die Flüssigkeiten beim Auseinandernehmen der Elemente vermischen, so muß man zu einer neuen Füllung immer frische Bittersalzlösung nehmen.

In käuflichen Meidinger'schen Elementen findet man anstatt eines Kupfercylinders häufig einen Bleicylinder. Das Blei wirkt etwas weniger kräftig elektricitätserregend, als das Kupfer; weil es sich aber durch die Wirkung des Stromes bald mit Kupfer bedeckt, ist dieser Unterschied nur anfangs merklich; das mit Kupfer überzogene Blei wirkt ganz ebenso gut, wie bloses Kupfer. Die Bleicylinder haben die Annehmlichkeit, daß sie biegsamer sind, als kupferne; es läßt sich deshalb von ihnen das niedergeschlagene Kupfer leichter ablösen.

Die Ausscheidung von Metallen aus Lösungen durch den galvanischen Strom findet vielfach praktische Verwendung. Wenn diese Ausscheidung langsam genug vor sich geht, so bildet sich eine dichte zusammenhängende Schicht, welche sich in ihrer Form ganz genau der Kathode anschließt und unter gewissen Umständen sehr fest auf ihr haftet. Bringt man leitende Köper als Kathode in eine Lösung eines geeigneten Gold- oder Silbersalzes (Cyangoldkalium oder Cyansilberkalium), so erhalten sie einen Ueberzug von Gold oder Silber, der bei Anwendung gewisser Vorsichtsmaßregeln eben so fest haftet, wie eine im Feuer hergestellte Vergoldung oder Versilberung.

Eine genaue Anweisung zur wirklichen Ausführung der galvanischen Vergoldung oder Versilbdrung soll hier nicht gegeben werden, zumal die anzuwendenden Gold- und Silberlösungen wegen ihrer außerordentlichen Giftigkeit gefährlich sind.

Die aus einer Kupfervitriollösung auf die Kathode abgeschiedene Kupferschicht läßt sich, wenn sie dick genug ist, abheben und bildet einen Abdruck von solcher Schönheit und Genauigkeit, wie man ihn auf keine andere Weise erhalten kann. Erhabene Theile der Kathode erscheinen im Abdruck vertieft und umgekehrt; benutzt man den Abdruck selbst wieder als Kathode, so erhält man einen zweiten Abdruck, dessen Form genau die zuerst angewendeten

Körper wiedergiebt. Die galvanische Nachbildung eines Körpers in Kupfer nennt man Galvanoplastik. Dieselbe wird unter Anderem mit großem Vortheile benutzt zur Vervielfältigung von gestochenen Kupferplatten und von Holzschnitten. Man kann von einer Kupferplatte oder einem Holzschnitt nur eine gewisse Zahl guter Bilder drucken, weil das nicht sehr harte Kupfer und Holz durch den Druck allmählig verdorben werden; auf galvanoplastischem Wege kann man aber von der Kupferplatte oder dem Holzstock eine beliebig große Zahl genauer Nachbildungen in Kupfer erhalten und diese zum Druck benutzen und also auch eine ganz beliebig große Menge guter Abdrücke auf Papier herstellen.

Sehr leicht kann man einen galvanoplastischen Abdruck einer Münze herstellen. Um die Münze nicht der Gefahr einer Beschädigung beim Abnehmen des oft sehr fest sitzenden, galvanischen Ueberzugs auszusetzen, ist es am besten, zuerst einen Abguß in Stearin herzustellen und von diesem erst den galvanischen Abdruck zu nehmen, der dann auch die Erhabenheiten der Münze erhaben wiedergiebt.

Eine große, mit einer Bürste und Seife wohl gereinigte Münze (ein Thaler oder dergl.) wird auf den Tisch gelegt und mit einem Rande umgeben, indem man einen Papierstreifen von 2^{cm} Breite und 20^{cm} Länge straff um die Münze herumlegt und das Ende desselben mit etwas Gummi festklebt. Ein Stückchen einer Stearinkerze schmilzt man in einem Blechlöffel und gießt davon in das aus der Münze und dem Papier gebildete Gefäß soviel, daß eine 5 bis 6^{mm} hohe Schicht entsteht. (Schließt der Papierrand nicht ordentlich, so läuft Stearin zwischen ihm und der Münze durch; will man nicht erst einen neuen Rand machen, so warte man so lange, bis das Ausgelaufene erstarrt ist und dadurch einen Verschluß gebildet hat und gieße dann noch die nöthige Menge nach.) Nach einer Stunde entfernt man den Papierrand durch Abreißen, dabei löst sich gewöhnlich der Abdruck von selbst von der Münze los; geschieht dies nicht, so nehme man ihn recht vorsichtig ab, um ihn nicht zu zerbrechen oder zu verkratzen.

Fig. 349.



a. P. nat. Gr.

Da das Stearin ein Isolator ist, so kann man es nicht ohne Weiteres als Kathode benutzen, sondern man muß es mit einer feinen, leitenden Schicht überziehen. Dies geschieht indem man seine Oberfläche mittelst eines weichen, trockenen Haarpinsels einreibt mit feiner Goldbronce, wie sie die Decorationsmaler zum Bronciren von Stubenöfen oder dergl. verwenden oder mit ganz feinzerriebenem Graphit. Graphit ist eine sehr weiche, gewöhnlich blättrige, äußerst schwer verbrennende Art Kohle, die bergmännisch gewonnen wird; die besseren Sorten liefern die Masse der Bleistifte, die geringeren (Wasserblei genannt) dienen zum Schwärzen eiserner Oefen und zur Verfertigung von Schmelztiegeln. Etwas käufliches Wasserblei wird in der Reibschaale zu einem ganz zarten, zwischen den Fingerspitzen nicht zu fühlenden Pulver zerrieben und dieses womöglich noch durch ein Stückchen feines Baumwollen- oder Leinenzeug gebeutelt. Man schüttet den zerriebenen Graphit auf die Mitte eines Läppchens von 10 bis 12^{cm} ins Geviert, faßt die Zipfel des Läppchens zusammen, daß eine Art Beutel entsteht, den man mit einem Faden zubindet und klopft mit dem Beutel solange auf ein glattes Brettchen, bis von dem Inhalte eine genügende Menge durch das Gewebe herausgegangen ist. Zuerst reibt man den Rand des Stearinabgusses mit Hülfe der Fingerspitze mit Graphit oder Bronce ein, dann die abzuformende Oberfläche mittelst des Pinsels. Die untere Fläche des Stearins läßt man frei, damit sich auf ihr nicht auch Kupfer absetzt.

Um den Rand des Stearinabgusses legt man einen dünnen, durch Ausglühen recht weich gemachten und wieder blank geputzten Kupferdraht und befestigt ihn durch vorsichtiges Zusammendrehen, Fig. 349. Das Ende dieses Drahtes kann man mit dem negativen Pole einer schwachen Batterie verbinden und dann den Abguß in eine

gesättigte Kupfervitriollösung bringen, in die man als Anode eine mit dem positiven Pol der Batterie verbundene Kupferplatte eintauchen läßt.

Noch einfacher ist es aber, die in einem Kupfervitriol enthaltenden Elemente stattfindende Kupferausscheidung selbst zur Erzeugung des galvanoplastischen Abdrucks zu benutzen. Graphit und Bronce verhalten sich in Hinsicht ihrer galvanischen Eigenschaften ähnlich, wie Kupfer; man kann deshalb das mit Graphit oder Bronce überzogene Stearin ohne weiteres anstatt des Kupferblechs in ein Element von der in Fig. 348 dargestellten Art bringen. Der senkrechte Theil des am Stearinabguß befestigten Drahtes wird vor dem Einbringen in das Element mit Asphaltlack angestrichen, damit sich an ihm kein Kupfer ansetzt; sein oberes Ende wird durch eine Klemmschraube mit dem am Zinkcylinder befestigten Leitungsdrahte verbunden. Da der Strom nur schwach sein darf, verwendet man anstatt der oben angegebenen Bittersalzlösung im vorliegenden Falle eine viel schwächere, den Strom weniger gut leitende, die auf das ganze Element nur eine Messerspitze Bittersalz enthält. Die Kupfervitriolstücke darf man hier nicht einfach in das Gefäß werfen, sondern man muß sie mittelst der Tiegelzange vorsichtig so einbringen, daß sie nicht auf den Stearinabguß, sondern neben ihn zu liegen kommen. Man achte darauf, daß die dunkelblaue Lösung wenigstens einige Millimeter höher steht, als die obere Fläche des Stearins. Nach Verlauf von 3 bis 8 Tagen, während deren man von Zeit zu Zeit den verbrauchten Kupfervitriol durch neuen ersetzt, ist der galvanische Abdruck genügend dick, um ihn abnehmen zu können. Sind Theile des Kupfers nach unten über den Rand des Stearins hinweggewachsen, so breche man diese vorsichtig ab und hebe dann die Kupferschicht vom Stearin ab; bekommt man sie nicht los, so kann man das Stearin wegschmelzen. Will man den Kupferabdruck in gefälliger Form aufheben und ihn deshalb von dem daran sitzenden Rande befreien, so bestreiche man die Rückseite mit Löthwasser, bringe ein Stückchen Weichloth darauf und erwärme, bis dieses fließt und die Rückseite des Abdrucks überzieht; dann erst darf man den Rand vorsichtig wegfeilen. Ohne den Ueberzug von Weichloth zerbricht der Abdruck beim Bearbeiten leicht, weil das galvanisch niedergeschlagene Kupfer ziemlich spröde ist. Die Kupferschicht darf keine Löcher haben, weil sonst das Weichloth durch diese hindurch auf die Vorderseite fließt und diese verdirbt. Solche Löcher entstehen, wenn beim Eintauchen des Stearinabgusses Luftblasen an diesem hängen bleiben; deshalb entferne man etwaige Luftblasen vorsichtig mit Hülfe eines spitzen Pinsels, man wische aber dabei nicht unnöthig viel auf der mit Graphit oder Bronce eingeriebenen Fläche herum, um von der dünnen, leitenden Schicht nicht zu viel wegzunehmen.

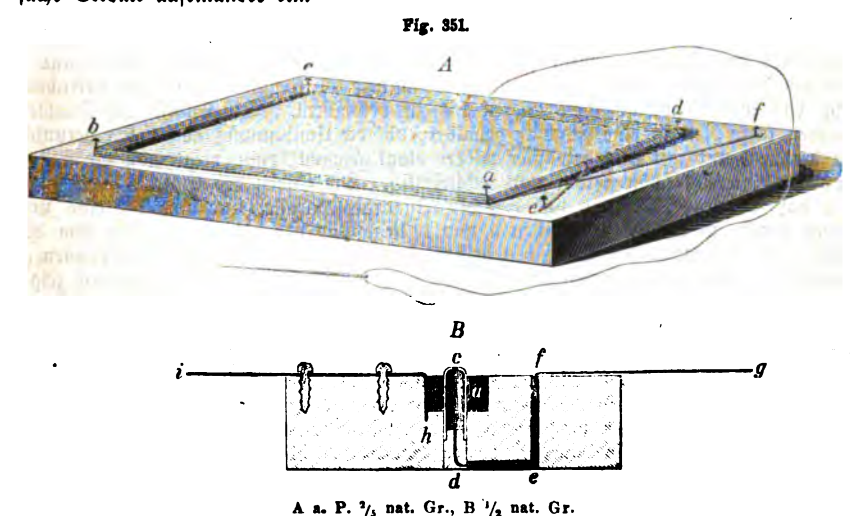
Die Vorderfläche des zurechtgefeilten Abdrucks wird mit einem Bürstchen und etwas mit Weingeist zu einem Brei angerührter Schlemmkreide blank geputzt.

50. Wirkung galvanischer Ströme aufeinander, Ampère'sche Gesetze. Zwei Leiter, welche von elektrischen Strömen durchflossen sind, suchen je nach ihrer Lage und nach der Richtung, welche die Ströme haben, verschiedene Wirkungen auf einander zu äußern; um diese Wirkungen wahrnehmen zu können, braucht man Leiter, von denen wenigstens der eine sehr leicht beweglich ist. Bringt man in die Nähe eines beweglich aufgehängten Leiters, durch den ein Strom fließt, einen zweiten Leiter, welcher dem ersten parallel ist und in gleicher Richtung von einem Strom durchflossen wird, so zeigt sich eine Anziehung; der bewegliche Leiter nähert sich dem andern. Hat der Strom im zweiten Leiter die entgegengesetzte Richtung, wie im beweglichen, so entfernt sich dieser von ihm, es findet eine Abstoßung statt. Laufen die beiden Ströme über's Kreuz, so dreht sich der bewegliche Leiter so, daß er dem andern parallel wird und der Strom in ihm gleiche Richtung mit dem des andern Leiters hat. Man pflegt die Gesetze dieser Wirkungen (die Ampère'schen Gesetze) so auszusprechen: gleichgerichtete, parallele Ströme ziehen sich an, entgegengesetzt gerichtete, parallele Ströme

stoßen sich ab, gekreuzte Ströme suchen sich parallel und gleichgerichtet zu stellen.[75]

Bei Anwendung sehr starker Ströme reicht ein einfacher, beweglich aufgehängter Leiter, dem man einen zweiten, gleichfalls einfachen Leiter nähert, aus, um merkliche Bewegungen zu bekommen; für den Strom von zwei Grove'schen oder Bunsen'schen Elementen wendet man am besten Leiter aus mehrfach nebeneinanderliegenden, umsponnenen Kupferdrähten an, welche so eingerichtet sind, daß die aneinanderliegenden Theile des Drahtes nacheinander von dem Strome in gleicher Richtung durchlaufen werden; bei Anwendung solcher Leiter wirken dann nicht einfache, sondern mehrfache Ströme aufeinander ein.

Fig. 351.

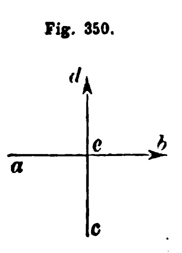


A a. P. $^2/_3$ nat. Gr., B $^1/_2$ nat. Gr.

Auf ein Brettchen, Fig. 351 A, zeichnet man sich ein Quadrat, dessen Seiten 15^{cm} lang sind, schlägt an den Ecken vier Drahtstifte a, b, c, d und in der Nähe von a und d noch zwei weitere Stifte e und f ein. Ein reichlich $3^{m},3$ langes Stück von übersponnenem, $0^{mm},6$ bis 1^{mm} dickem Draht (die Dicke ohne die Umspinnung gemessen) wird mit einem Ende an dem Drahtstift f befestigt und dann straff über a nach b, c, d und so fünf mal um das Quadrat gewickelt; das Ende des Drahtes befestigt man durch Umwickeln um den Stift e. Ein langer Zwirnfaden wird in eine Nadel gefädelt und mittelst dieser genau in der Mitte zwischen a und d unter dem vierfach liegenden Drahte a d und unter dem von d nach e gespannten Drahte (aber nicht mit unter dem Drahte a f) durchgezogen; dann

[75] Der letzte Theil des Satzes läßt sich auch etwas anders ausdrücken. In Fig. 350 seien a b und c d zwei Ströme, deren Richtung durch die Pfeilspitzen angedeutet ist. Diese suchen sich so zu drehen, daß a auf c und b auf d fällt; es ziehen sich a e und c e, e b und e d an, dagegen stoßen sich a e und e d, c e und e b ab. In a e und c e läuft der Strom nach dem Kreuzungspunkte hin, in e b und e d von ihm weg: **es findet Anziehung statt zwischen zwei Theilen, in denen der Strom beiderseits zum Kreuzungspunkte hin oder beiderseits von ihm wegläuft, Abstoßung zwischen zwei Theilen, in denen der Strom einerseits zum Kreuzungspunkt hin, andererseits von ihm weg läuft.**

Fig. 350.



schlingt man den Faden zu einer Schleife, die man straff anzieht und durch einen doppelten Knoten verknüpft; dabei wird das von d nach e gespannte Drahtstück so angezogen, daß es sich mit seiner rechten Hälfte an den vierfachen Draht a d anlegt, wie es in Fig. 351 A dargestellt ist. Hierauf windet man den Faden, indem man ihn mit Hülfe der Nadel wiederholt unter den Drähten durchzieht, spiralförmig um diese herum, so daß er sie mit einander verbindet. Die Figur zeigt die Umwindung zum vierten Theile vollendet. An den Ecken des Quadrats sehe man sich vor, daß man den Faden nicht mit um die Drahtstifte herum, sondern zwischen diesen und den Kupferdrähten hindurch schlingt. Nachdem man mit dem Umwinden bis a gekommen ist, schlinge man den Faden auch mit um das Drahtstück a f herum, so daß sich dieses ebenfalls an den vierfachen Draht a d anlegt. Man umwickelt nicht ganz bis an den Punkt, von dem man angefangen hat, sondern hört etwa 6^{mm} davon auf, knüpft da das Ende des Fadens gehörig fest, schneidet die Enden des Drahtes bei e und f mit der Kneipzange durch und zieht die Drahtstifte a, b und c aus dem Brettchen, um das aus Draht gebildete Viereck los zu bekommen. Die Enden des Drahtes werden kurze Zeit in eine Flamme gehalten, um die Umspinnung von ihnen herunter zu brennen, und mit Smirgelpapier wieder blank gemacht; dann biegt man die Seiten des Drahtvierecks schön gerade und rechtwinklig. Die Enden des Drahtes biegt man so, daß sie den Seiten a b und c d des Quadrats parallel sind und der eine von ihnen gerade in die Mitte zwischen a und b liegt und der andere 6^{mm} von ihm absteht. In der Mitte der Seite b c bringt man eine kleine Oese von übersponnenem Drahte an, deren Einrichtung aus Fig. 352 A, welche das fertige Drahtviereck zeigt, genügend zu erkennen ist.

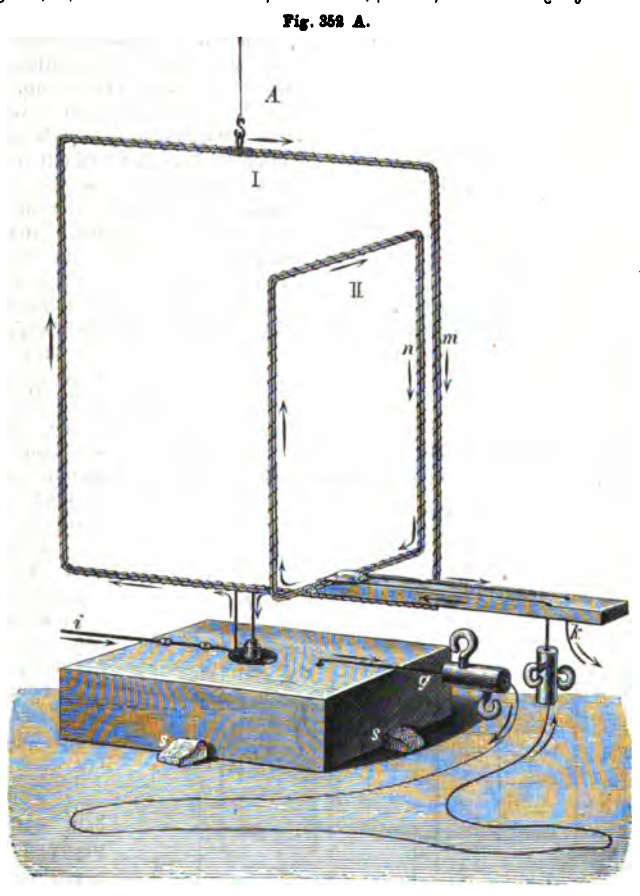
Ein zweites Viereck aus fünffachem Draht, aber mit nur 11^{cm} langen Seiten, wird in ganz ähnlicher Weise hergestellt. Bei der Anfertigung desselben schlägt man aber den Stift e einige Centimeter weiter nach links, den Stift f einige Centimeter weiter nach rechts ein, so daß man an dem Draht längere Enden bekommt, und beginnt mit dem Umwinden nicht gerade in der Mitte zwischen a und d, sondern 6^{mm} links von der Mitte, so daß die beiden Enden des Drahtes schließlich 12^{mm} von einander abstehen. Man biegt sie so, daß sie wagrecht laufen, wenn das Drahtviereck selbst senkrecht steht und klebt dieses mit Siegellack auf das Ende eines 10^{cm} langen, 1^{cm} breiten, 5^{mm} dicken Leistchens. In dieses Leistchen bohrt man mit einem glühenden Drahte zwei Löcher und zieht jedes Ende des Kupferdrahtes durch eines von diesen Löchern, um es einigermaßen zu befestigen (siehe Fig. 352).

Das größere Drahtviereck wird in dem Gestell Fig. 35 aufgehängt mittelst eines Zwirnfadens, der einen S-förmig gebogenen Drahthaken trägt, welchen man in die Oese des Drahtvierecks einhakt. Ein Häkchen wird in die Mitte des oberen Querstabes des Gestelles eingeschraubt; den Faden läßt man über dieses Häkchen nach einem der senkrechten, seitlichen Stäbe laufen und befestigt ihn da durch Umwickeln um ein eingeschlagenes Drahtstiftchen. Die Drahtenden des aufgehängten Vierecks läßt man in Quecksilber tauchen, welches zur Zu- und Fortleitung des galvanischen Stromes dient.

In die Mitte eines viereckigen Brettchens, Fig. 351 B, von ohngefähr 10^{cm} Seitenlänge und 2 bis $2^{cm},5$ Dicke bohrt man mit dem Centrumbohrer ein 18^{mm} weites, 8 bis 10^{mm} tiefes Loch; im Mittelpunkte dieses Lochs wird dann das Brettchen mit einem starken Nagelbohrer vollends durchgebohrt. Ein 5 bis 6^{mm} dickes Glasrohr hält man mit einem Ende in die Weingeist- oder Gasflamme unter fleißigem Drehen so lange, bis der erweichte Rand des Glases so weit zusammengelaufen ist, daß nur noch eine Oeffnung da ist, durch welche der zu dem Drahtviereck verwendete Draht ohne Reibung, aber auch ohne viel freien Spielraum hindurchgeht; nach dem Erkalten wird das Glasrohr 2^{cm} weit von dem verschmolzenen Ende mit der Feile eingeritzt und abgebrochen. Ein 15^{cm} langes Stück von 1^{mm} dickem Kupferdraht umgiebt man nahe an einem Ende mit einem Wulst von Siegellack und kittet es in das weite Ende des Glasröhrchens auf die Weise ein, welche S. 399 für das Einkitten des Eisendrahtes beschrieben ist. Das Glasröhrchen wird von unten her in das durch das Brettchen gebohrte Loch eingesetzt (siehe Fig. 351 B); nöthigenfalls muß man das

Loch mit der Rattenschwanzfeile erweitern. Paßt das Glasröhrchen streng in das Loch, so ist keine weitere Befestigung nöthig, andernfalls füllt man den unteren Theil des Loches mit Siegellack aus, nachdem man den Kupferdraht seitwärts gebogen hat. Für diesen Draht schneidet man in die untere Fläche des Brettchens von d bis e eine Rinne, in welche er sich eindrückt, wenn man ihn durch das mit dem Nagelbohrer gemachte Loch e f steckt und straff nach oben zieht; der obere Theil des Drahtes f g wird schließlich umgebogen. Am Rande der mit dem Centrumbohrer gemachten Vertiefung a sticht man einen 1^{mm} starken Kupferdraht in das Holz des Brettchens

Fig. 352 A.



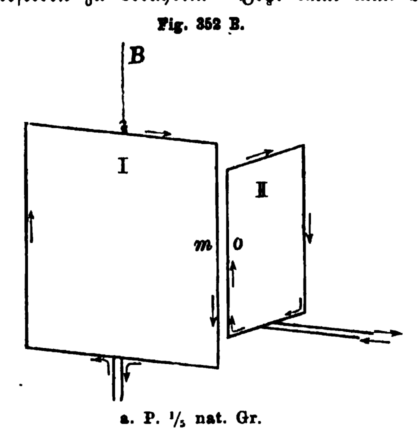
a. P. $^{2}/_{3}$ nat. Gr.

ein (bei h), biegt ihn dann oben um und befestigt ihn durch Umwickeln um zwei kleine, rundköpfige Holzschrauben.

Die Zusammenstellung der bis jetzt beschriebenen Theile geschieht auf folgende Weise: Das in Fig. 351 B mit c bezeichnete Glasröhrchen wird bis auf 2 oder 3^{mm} von der Oeffnung gefüllt mit Quecksilber, das man mit einem Stückchen spitz ausgezogener Glasröhre, welches man als Pipette gebraucht, durch die kleine Oeffnung bei c einbringt. Dann setzt man das Brettchen mit dem Glasröhrchen mitten auf das Fußbrett des Gestelles, an dem das Drahtviereck hängt und verschiebt es so, daß die Oeffnung des Glasröhrchens sich genau unter dem einen Drahtende des Vierecks befindet und zwar unter demjenigen, welches von beiden Seiten des Vierecks gleich

weit entfernt ist. Man läßt dabei das Drahtviereck in solcher Höhe schweben, daß das Drahtende sich dicht über der Oeffnung des Glasröhrchens befindet. Nachdem man die richtige Stellung des Brettchens gefunden, sichert man dieses durch ein Paar Tröpfchen Siegellack, die man an dasselbe und zugleich auf das Fußbrett des Gestells bringt (s s Fig. 352 A) vor dem Verschieben, füllt das ringförmige Näpfchen a a mit Quecksilber und läßt den das Drahtviereck tragenden Draht soweit nach, daß die beiden Drahtenden in die beiden Quecksilbernäpfchen tauchen, ohne aber den Boden derselben zu berühren. Jetzt kann man die Drähte g und i mit den Polen einer galvanischen Kette verbinden und so den Strom mittelst der Quecksilberverbindungen durch das Drahtviereck leiten, während dieses ganz leicht drehbar ist.

Fig. 352 B.

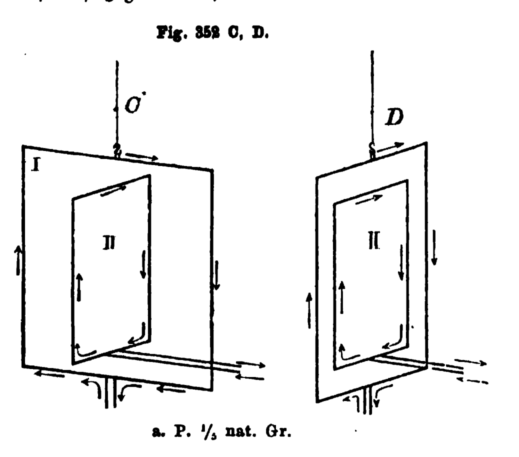


a. P. 1/5 nat. Gr.

Die Verengerung des Glasröhrchens durch Zusammenlaufenlassen des oberen Endes ist durchaus nothwendig, um den einen Kupferdraht in der Mitte des Quecksilbers zu halten; ohne diese Verengerung legt sich der Draht stets an den Rand des Näpfchens fest und das Viereck verliert seine leichte Drehbarkeit.

Das kleinere Drahtviereck, welches man mittelst des hölzernen Leistchens in der Hand hält, kann man von dem Strome einer zweiten Kette durchlaufen lassen, wenn man genug Elemente hat; einfacher ist es, nur eine Kette (von wenigstens zwei Elementen) anzuwenden und den einen Leitungsdraht derselben mit dem Drahte i, Fig. 352 A, den anderen mit dem einen Drahtende k des kleinen Vierecks und das zweite Drahtende dieses Vierecks durch einen $0^m,5$ langen Draht mit dem Drahte g zu verbinden. In Fig. 352 ist angenommen, daß i mit dem vom positiven Pole kommenden Leitungsdrahte verbunden ist.

Fig. 352 C, D.



a. P. 1/5 nat. Gr.

Nähert man dem beweglichen Leiter I den anderen Leiter II so, wie Fig. 352 A zeigt, während beide in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung durchflossen werden, so ist deutlich wahrzunehmen, wie die benachbarten, senkrechten Theile der Leiter sich anziehen, das Viereck I dreht sich so, daß sich der Theil m dem Theile n nähert.

Hält man aber den Leiter II so, wie Fig. 352 B zeigt, daß also die in entgegengesetzter Richtung durchflossenen Theile m und o nahe beisammen sind, so wird m von o abgestoßen.

Bringt man endlich das Viereck II so in das andere hinein, daß die

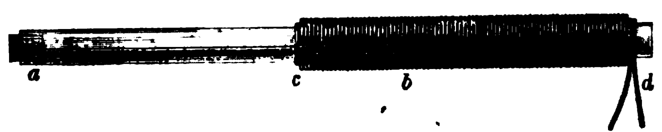
Ebenen der beiden Vierecke rechtwinklig gegen einander stehen, Fig. 352 C, so dreht sich I so, daß es die Fig. 352 D gezeichnete Lage annimmt.[76]

Eine eigenthümliche Erscheinung, die im nächsten Abschnitt (beim Erdmagnetismus, § 52) ihre Erläuterung finden wird, zeigt sich, wenn man entweder den Strom nur durch den beweglichen Leiter gehen läßt, oder das kleine Drahtviereck soweit von dem großen entfernt, daß es nicht darauf einwirkt: daß vom Strom durchflossene Viereck dreht sich so, daß seine Ebene ohngefähr von Ost nach West (genau von ONOzO nach WSWzW) steht und zwar so, daß der Strom an der westlichen Seite des Vierecks aufwärts, an der östlichen abwärts läuft.

C. Elektromagnetismus, Magnetismus, Induction.

51. **Elektromagnetismus.** Eine Glasröhre, Fig. 353, ist umwunden mit übersponnenem Kupferdrahte, welcher in zwei oder mehreren Lagen etwas

Fig. 353.



nat. Gr.

mehr als die Hälfte der Röhre umgiebt. Das unumwundene Ende des Glasrohres ist durch einen Kork verschlossen. Ein Eisenstäbchen, noch etwas länger, als der mit dem Draht umwickelte Theil der Röhre, liegt in dem Glasrohre und zwar so, daß es mit einem Ende a den Kork berührt, während sich sein anderes Ende b innerhalb der Kupferdrahtwindungen befindet. Leitet man einen kräftigen Strom durch den Kupferdraht, so wird das Eisenstäbchen in die Windungen hineingezogen, so daß das vorher bei b befindliche Ende nach d, das bei a befindliche nach c kommt. Ist der Strom kräftig genug, so findet diese Bewegung nicht nur statt, wenn das Glasrohr, wie in der Figur angenommen, wagerecht liegt, sondern auch dann, wenn es senkrecht steht, so daß das Eisenstäbchen aufwärts springen muß.

Fig. 354.

nat. Gr.

Diese Anziehung zwischen einem Stück Eisen und einem spiralförmig geleiteten Strom dauert natürlich nur so lange, wie der Strom selbst; sobald man diesen unterbricht, fällt das Eisenstäbchen zurück, wenn das Gläschen vertical steht.

Das von dem Strom umflossene Eisenstäbchen zeigt ähnliche Eigenschaften, wie die von dem Strome durchflossene Spirale; es besitzt ebenfalls die Fähigkeit, Eisen anzuziehen. Bringt man an das aus der Oeffnung der horizontal liegenden Röhre hervorstehende Ende des Stäbchens ein anderes, kurzes Eisenstäbchen, Fig. 354, so wird dieses von jenem getragen und ver-

[76] Im letzten Falle ist die Bewegung des Drahtes I nicht blos die Folge der gegenseitigen Einwirkung der gekreuzten, wagrechten Theile der Leiter, sondern sie wird auch mit veranlaßt durch die Anziehung und Abstoßung der senkrechten Theile der Leiter. Es giebt auch Vorrichtungen, die Wirkung der gekreuzten Ströme allein zu zeigen, dieselben sind aber ziemlich verwickelt.

mag selbst noch ein zweites und drittes Stäbchen zu tragen. Auch die Anziehung dieser Eisenstücke unter einander verschwindet, sobald man den Strom unterbricht, welcher dem ersten Eisenstäbchen die Anziehungskraft ertheilt; im Augenblick der Stromunterbrechung fallen die sämmtlichen Eisenstückchen herunter.

Um diese Erscheinungen erklären zu können, muß man die Annahme machen, daß im Eisen jedes kleinste Theilchen fortwährend umflossen ist von einem kreisförmigen, geschlossenen Strome. Diese unendlich kleinen Kreisströme nennt man nach dem Begründer der Annahme ihres Vorhandenseins die Ampère'schen Ströme. Im gewöhnlichen Zustande des Eisens haben sie alle möglichen, verschiedenen Lagen; während einer einem zweiten parallel ist, läuft ein anderer in gerade entgegengesetzter Richtung, wieder ein anderer rechtwinklig gegen die ersten u. s. f. Die Lage der einzelnen, kleinen Kreisströme ist eine durchaus unregelmäßige; es kommt aber eine Richtung im Durchschnitt eben so häufig vor, wie die andere, so daß keine Richtung vorherrscht. Auf diese Weise können die Ampère'schen Ströme nach außen hin keine Wirkung hervorbringen; wenn einer von ihnen eine Wirkung zu äußern sucht, so sucht dafür ein in seiner Nähe befindlicher, aber entgegengesetzt gerichteter die entgegengesetzte Wirkung hervorzubringen und hebt dadurch die Wirkung auf. Weiter muß man annehmen, daß die Lage dieser kleinen Kreisströme keine unveränderliche ist; durch die Einwirkung eines kräftigen Stromes kann sie geändert werden.

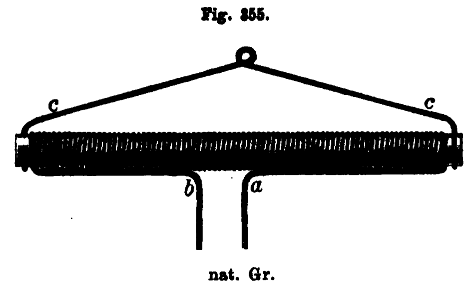
Nach den Ampère'schen Gesetzen sucht ein Strom einen anderen, beweglichen Strom, welcher ihm nicht parallel ist, so zu drehen, daß ihre Lage parallel und ihre Richtung gleich wird. Eine solche Drehung erleiden nun die Ampère'schen Ströme durch den in ihrer Nähe kreisenden galvanischen Strom. Die Theile des Stromes in den einzelnen Ringen der Spirale verhalten sich, wie einzelne nahezu kreisförmige Ströme; sie richten die Ampère'schen Ströme des benachbarten Eisenstückes sich selbst gleichlaufend. Sobald aber die Ströme gleiche Richtung haben, findet nach den Ampère'schen Gesetzen eine Anziehung statt, welche das Eisen der Spirale soweit als möglich nähert, d. h. es in dieselbe hineinführt. Sobald die vorher unregelmäßig gelagerten Kreisströme des Eisens gleiche Richtung angenommen haben, vermögen sie die nämliche Wirkung auszuüben, wie die galvanischen Kreisströme der Drahtspirale, d. h. sie vermögen die Ampère'schen Ströme eines anderen, genäherten Eisenstückes ebenfalls in parallele Lage und gleiche Richtung zu bringen, so daß dieses die nämliche Wirkung auf ein drittes ausüben kann u. s. f. und alle diese Eisenstücke sich dann unter einander anziehen.

Ein Stück Eisen, dessen Ströme gleichgerichtet sind und das deshalb die Fähigkeit besitzt, auf andere Eisenstücke eine Anziehung zu äußern, heißt magnetisch; jedes andere Eisenstück, das mit einem magnetischen in Berührung kommt, wird dadurch ebenfalls magnetisch. Daß man nicht unbegrenzt viele Eisenstücke aneinanderhängen kann, sondern die Anziehungskraft jedes folgenden etwas schwächer wird, als die des vorhergehenden, hat seinen Grund darin, daß die Ampère'schen Ströme im weichen Eisen zwar ziemlich leicht beweglich sind und darum unter der Einwirkung eines spiraligen Stromes oder eines benachbarten magnetischen Eisenstückes schnell die Gleichrichtung annehmen, daß sie aber doch zugleich eine gewisse Neigung haben, in ihre frühere, regellose Lage zurückzukehren, so daß es einer kräftigen Einrichtung bedarf, um sie sämmtlich in gleiche Richtung zu bringen und darin zu er-

halten, d. h. um das Eisen vollkommen magnetisch zu machen. In dem von dem Spiralstrom umflossenen Eisenstücke kann bei genügender Stromstärke die Magnetisirung eine vollständige sein; dieses Eisenstück vermag aber in dem zweiten nur eine theilweise Magnetisirung zu bewirken, weil nur ein Ende des zweiten Stückes das erste berührt, die übrigen Theile desselben aber weiter entfernt sind und darum nicht so kräftig beeinflußt werden. Aus dem nämlichen Grunde ist die Gleichrichtung der Ströme im dritten Eisenstück noch weniger vollständig als im zweiten u. s. f.

Das erwähnte Bestreben der Ampère'schen Ströme, ihre regellose Lage wieder anzunehmen, ist auch der Grund, daß ein Eisenstück nicht dauernd magnetisch bleibt, sondern nur so lange, als ein Strom oder ein anderes magnetisches Eisenstück darauf einwirkt.

Fig. 355.

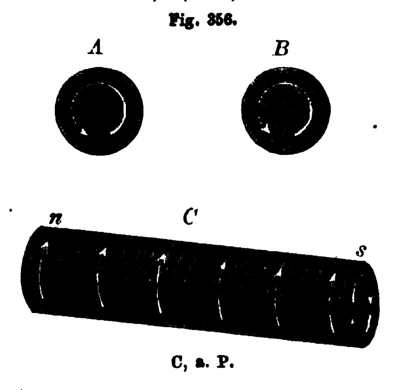


nat. Gr.

Ein Eisenstück, das durch die Wirkung eines spiralförmig herumgeleiteten Stromes magnetisch gemacht ist, heißt ein Elektromagnet, der Zustand eines sochen Eisenstückes Elektromagnetismus.

Ein beweglich aufgehängter Elektromagnet, Fig. 355, d. h. ein mit besponnenem Kupferdraht spiralförmig umwundenes Eisenstäbchen, von dem die Drahtenden in die Quecksilbernäpfchen des in Fig. 351 B und 352 A dargestellten Brettchens tauchen, richtet sich mit ziemlicher Kraft von Nord nach Süd (genau von NNW z N nach SSO z S, also das nördliche Ende ein wenig westlich, das südliche Ende ein wenig östlich von der reinen Nord-Südrichtung). Die Enden eines Elektromagneten und überhaupt eines elektrischen Eisenstücks heißen seine Pole. Derjenige Pol, welcher sich bei freier Beweglichkeit des magnetischen Eisens nach Norden richtet, wird Nordpol, der andere Südpol genannt.

Fig. 356.



C, a. P.

Verfolgt man die Richtung der Ströme in den Windungen der Spirale die natürlich auch die Richtung der Ampère'schen Ströme im magnetischen Eisen ist, so zeigt sich, wie bei dem letzten Versuche des vorigen §., daß die Stromrichtung an der Westseite auf-, an der Ostseite absteigend ist, oben von West nach Ost, unten von Ost nach West geht. Betrachtet man den Elektromagnet von der Südseite aus, so erscheint die Stromrichtung wie in Fig. 356 A, betrachtet man ihn von der anderen Seite, so daß man den Nordpol vor sich hat, so erscheint sie wie in Fig. 356 B. Von der Seite gesehen würden die Ströme in einem magnetischen Körper so laufen, wie in Fig. 356 C, wo n der Nordpol, s den Südpol bedeutet.

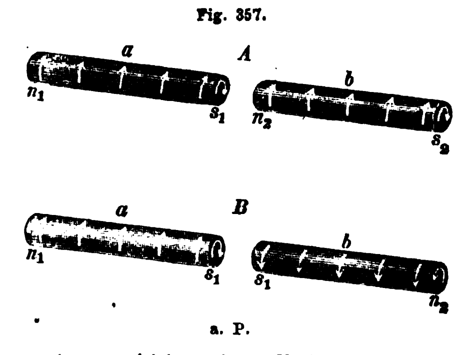
Man kann somit auch sagen: Der Südpol ist dasjenige Ende

eines magnetischen Körpers, von dem aus gesehen die Ströme in der Richtung eines Uhrzeigers laufen.

Läßt man den Strom der galvanischen Kette außer durch den beweglich aufgehängten noch durch einen zweiten ganz ähnlichen Elektromagneten laufen, den man aber in der Hand hält, und nähert einen Pol dieses zweiten erst dem einen, dann dem anderen Pole des beweglichen Elektromagneten, so zeigt sich kräftige Anziehung oder Abstoßung und wenn man die Richtung der Ströme in beiden Elektromagneten verfolgt und danach die Pole bestimmt, so zeigt sich, daß Nordpol und Südpol sich anziehen, Nordpol und Nordpol aber und Südpol und Südpol sich abstoßen: entgegengesetzte Pole ziehen sich an, gleichnamige Pole stoßen sich ab.

Es ist leicht zu sehen, daß dem so sein muß. In Fig. 357 A seien a und b zwei Elektromagnete, deren Ströme die durch die Pfeile angedeutete Richtung haben,[77] also in beiden gleichgerichtet sind und sich darum anziehen; unter Berücksichtigung der oben angegebenen Regel über die Beziehung zwischen der Lage der Pole und die Stromrichtung ergiebt sich, daß s_1 und s_2 die Südpole, n_1 und n_2 die Nordpole der Elektromagnete sind, die einander zugewendeten, entgegengesetzten Pole s_1 und n_2 ziehen sich an. Die Ströme der Elektromagnete a und b in Fig. 357 B laufen nach entgegengesetzten Richtungen; die Ströme von b laufen, vom Beschauer aus gesehen, umgekehrt wie ein Uhrzeiger; der dem Beschauer zugewendete Pol n_2 ist also ein Nordpol, folglich s_2 ein Südpol; die einander zugewendeten gleichnamigen Pole s_1 und s_2 stoßen einander ab.

Fig. 357.



Nicht ganz so einfach ist die Sache, wenn die beiden Elektromagnete nicht in einer Linie liegen, sondern einen Winkel bilden oder neben-, oder

[77] In dieser und den folgenden Figuren sind die Ströme so gezeichnet, als ob sie am Umfange der Elektromagnete herumliefen. Dies ist nur für die Ströme der Spirale wirklich richtig, während die Ampère'schen Ströme im Eisen unendlich klein sind; es umkreist je jeder nur ein Molekül. Die Anordnung der Ströme im Eisen entspricht der Fig. 358. In dieser Figur sollen die runden, schwarzen Flecken die Moleküle vorstellen; sie sind natürlich viel zu groß gezeichnet. Durch die Einwirkung des in der Spirale kreisenden Stromes, der durch den großen, gefiederten Pfeil angedeutet ist, nehmen die Ampère'schen Ströme die Richtung an, welche durch die kleinen, weißen Pfeile in den schwarzen Flecken angegeben ist.

Nun ist nicht schwer einzusehen, daß es für die Wirkung des magnetischen Eisenstückes nach außen ganz ebenso gut ist, als ob nur die am Umfange des Eisens liegenden Theile der Ampère'schen Ströme vorhanden wären. Betrachten wir das mittelste der gezeichneten Moleküle und diejenigen, welche es umgeben. An der linken Seite des mittelsten Moleküls steigt der Strom aufwärts, an der ihm zunächst befindlichen rechten Seite des links von der Mitte liegenden Moleküls abwärts. An der rechten Seite des mittelsten Moleküls steigt der Strom abwärts, an der linken Seite des rechts von der Mitte befindlichen Moleküls aufwärts. An der oberen Seite des mittelsten Moleküls geht der Strom von links nach rechts, an der unteren Seite des über der Mitte befindlichen Moleküls von rechts nach links. An der unteren Seite des mittelsten Moleküls geht der Strom von rechts nach links, an der oberen Seite des unter der Mitte liegenden Mo-

übereinander liegen. Dann können nicht mehr die ganzen Ströme des einen den ganzen Strömen des anderen gleich oder entgegengesetzt gerichtet sein und es kommt dann darauf an, wie die einander am nächsten liegenden Theile die Ströme gerichtet sind. Näher aneinander liegende Ströme oder Stromtheile wirken nämlich kräftiger anziehend oder abstoßend, als weiter von einander entfernte Stromtheile, so daß immer die Wirkung der einander zunächst liegenden Stromtheile überwiegt.

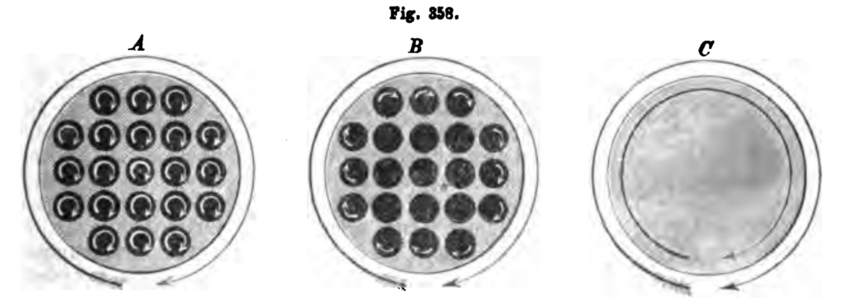
In Fig. 359 A und B sind s_1 und s_2 wieder die Südpole, n_1 und n_2 die Nordpole der einen rechten Winkel mit einander bildenden Elektromagnete a und b. Bei A sind die Ströme an den einander zugewendeten Seiten der Elektromagnete, nämlich an der hinteren Seite von a und an der linken Seite von b abwärts gerichtet, es findet Anziehung statt zwischen den entgegengesetzten Polen s_1 und n_2 (Eigentlich auch zwischen n_1 und s_2, doch ist diese unmerklich wegen zu großer Entfernung dieser Pole). Bei B sind die Ströme an der hintern Seite von a abwärts, an der linken Seite von b aufwärts gerichtet; die gleichnamigen Pole s_1 und s_2 stoßen sich ab.

Fig. 360 giebt die Richtung der Ströme zweier über (oder neben) einander liegender Elektromagnete an; kehren diese einander die entgegengesetzten Pole zu (A), so haben die einander zunächst liegenden Theile der Ströme, nämlich der obere Theil der Ströme im unteren und der untere Theil der Ströme im oberen Elektromagneten, gleiche Richtung (sie laufen beide von hinten nach vorn): es findet Anziehung statt. Sind die gleichen Pole einander zugewendet, so sind die einander zunächst liegenden Theile der Ströme entgegengesetzt gerichtet; die Elekromagnete stoßen einander ab (B).

---

lekülს von links nach rechts. Neben jedem Theile des im mittelsten Molekül kreisenden Ampère'schen Stromes läuft also ein gerade entgegengesetzt gerichteter Theil des Stromes im benachbarten Molekül und diese entgegengesetzt gerichteten Ströme würden auf einen außerhalb des Elektromagneten befindlichen Strom oder Elektromagneten gerade die entgegengesetzte Wirkung zu äußern suchen; sie heben sich also in ihren Wirkungen nach außen hin völlig auf. Was aber von dem in der Mitte liegenden Molekül gilt, gilt in gleicher Weise von jedem im Innern des Eisenstücks befindlichen Molekül; immer findet jeder Theil des Ampère'schen Stromes einen entgegengesetzt gerichteten Stromtheil im

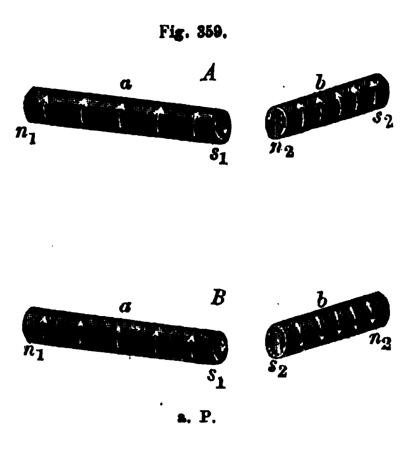
Fig. 358.



benachbarten Molekül, so daß sich die Wirkungen von allen im Inneren des Eisens liegenden Molekülen gegenseitig aufheben; nur die am Umfang des Eisens liegenden Theile der Ampère'schen Ströme finden in unmittelbarer Nähe keinen entgegengesetzten Stromtheil und kommen deshalb zur Wirkung, also die in Fig. 358 B dargestellten Stromtheile. Da diese wirksamen Theile überall dieselbe Richtung haben, wie der ungefiederte Pfeil in Fig. 358 C, so ist in den Figuren 357, 359 und 360 kurzweg die am Umfange des Eisenstückes herrschende Stromrichtung nur durch solche, dem Umfang des Eisens folgende Pfeile angegeben.

Zu der Vorrichtung Fig. 353 nehme man ein 8 bis 9^{cm} langes Stück einer 5^{mm} weiten Glasröhre und umwickele dieselbe mit umsponnenen Kupferdraht von etwa $0^{mm},6$ Dicke (ohne Umspinnung gemessen). Das Ende, an welchem man mit der Umwickelung anfangen will, erwärme man vorher ein weg, um eine ganz kleine Menge Siegellack anschmelzen zu können; mit dem Umwickeln fängt man an, ehe das Siegellack völlig wieder erkaltet ist, damit sich die ersten Drahtwindungen in dasselbe eindrücken und dadurch von dem Verschobenwerden gesichert sind. Dann wickele man recht gleichmäßig und dicht eine Windung neben die andere, bis man etwas über die Hälfte der Röhre mit Draht bedeckt hat (dazu sind 45 bis 50 Windungen nöthig). Auf die letzten Windungen tupft man ganz dünn etwas warmes Siegellack, um sie untereinander zu verkitten; nach dem Erkalten dieses Siegellacks fährt man fort zu umwickeln und zwar so, daß man den Draht in derselben Richtung weiter windet, aber die Windungen nicht mehr neben die früheren legt, sondern auf sie hinauf; daß also eine zweite Lage von Windungen entsteht und man zuletzt wieder da ankommt, wo man zu wickeln angefangen hatte. Die geraden Enden des umgewickelten Drahtes läßt man etwa 10^{cm} lang; die letzte äußere Windung klebt man entweder mit etwas Siegellack an die vorhergehenden Windungen an oder bindet sie mit Hülfe von etwas Zwirn, den man mehrmals herumschlingt, fest; damit der Draht sich nicht wieder abwickeln kann.

Fig. 359.



a. P.

Das unumwundene Ende der Glasröhre wird durch einen kleinen, passend geschnittenen Kork verstopft. Als Eisenstäbchen dient ein 4 bis $4^{cm},5$ langes Stück von $1^{mm},5$ dickem Draht.

Fig. 360.

a. P.

Der Strom zweier kräftigen Elemente ist hinreichend, um das Eisenstäbchen in dem senkrecht gestellten Glasrohr in die Höhe zu ziehen.

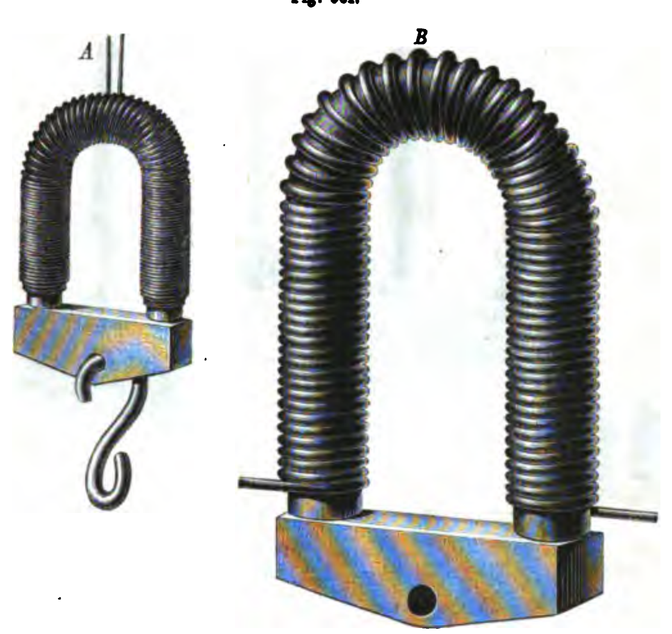
Verbindet man bei wagrechter Lage der Glasröhre nur das eine Ende des spiralförmig aufgewickelten Drahtes mit einem von der Batterie kommenden Leitungsdrahte dauernd durch eine Klemmschraube und streift mit dem Ende des andern Leitungsdrahtes über das freie Ende des Spiraldrahtes, so daß der Strom nur auf kurze Zeit geschlossen wird, so springt das Eisenstäbchen manchmal ziemlich lebhaft aus der Glasröhre heraus; nämlich dann, wenn die Wiederunterbrechung des Stromes in dem Augenblick erfolgt, wo das Eisenstäbchen infolge der Anziehung seine größte Geschwindigkeit erlangt hat. Das Stäbchen fliegt dann infolge des Beharrungsvermögens fort, während es in der Spirale festgehalten wird, wenn der Strom diese dauernd durchfließt.

Um die Anziehung mehrerer Eisenstücke untereinander zu zeigen, kann man zweckmäßig noch etwas dickeren Eisendraht nehmen, als zu dem ersten Versuche; so dick, als er überhaupt in der Glasröhre hineingeht. Die Stücken, welche angezogen werden sollen, macht man eben so dick, aber nur 15 bis 20^{mm} lang.

Wenn es sich nicht darum handelt, die Anziehung zwischen dem Eisen und der Spirale zu zeigen, sondern nur darum, das Eisen magnetisch zu machen, so kann

man den umsponnenen Kupferdraht unmittelbar auf das Eisen aufwickeln, so für den beweglich aufgehängten Elektromagnet Fig. 355. Zu diesem nimmt man ein 6^{cm} langes Stück von 4^{mm} dickem Eisendraht und überklebt es mit glatt herumgewickeltem Papier so, daß nur die Enden des Eisens frei bleiben. Dieses Papier hat den Zweck, eine Berührung des umsponnenen Drahtes mit dem Eisen zu verhindern, die leicht ein Verderben der Drahtumspinnung durch sich ansetzenden Rost zur Folge hat. Man giebt dem Elektromagneten nur eine Lage von Drahtwindungen, bindet die letzten Windungen durch Umwickeln mit etwas Zwirn fest und biegt die Enden des Drahtes in die aus Fig. 355 ersichtliche Form, so daß also der eine gerade in der Mitte des Elektromagneten abwärts geht, der andere 6^{mm} seitwärts von ihm. Diese Drahtenden werden bei a und b auch mit etwas Zwirn festgebunden. Zum Aufhängen des Elektromagneten dient ein aus dünnem Messingdraht gebogener Bügel c c, in der Mitte mit einer Oese und an den Enden mit Ringen zur Aufnahme des Elektromagneten versehen.


Fig. 361.



a. P. nat. Gr.

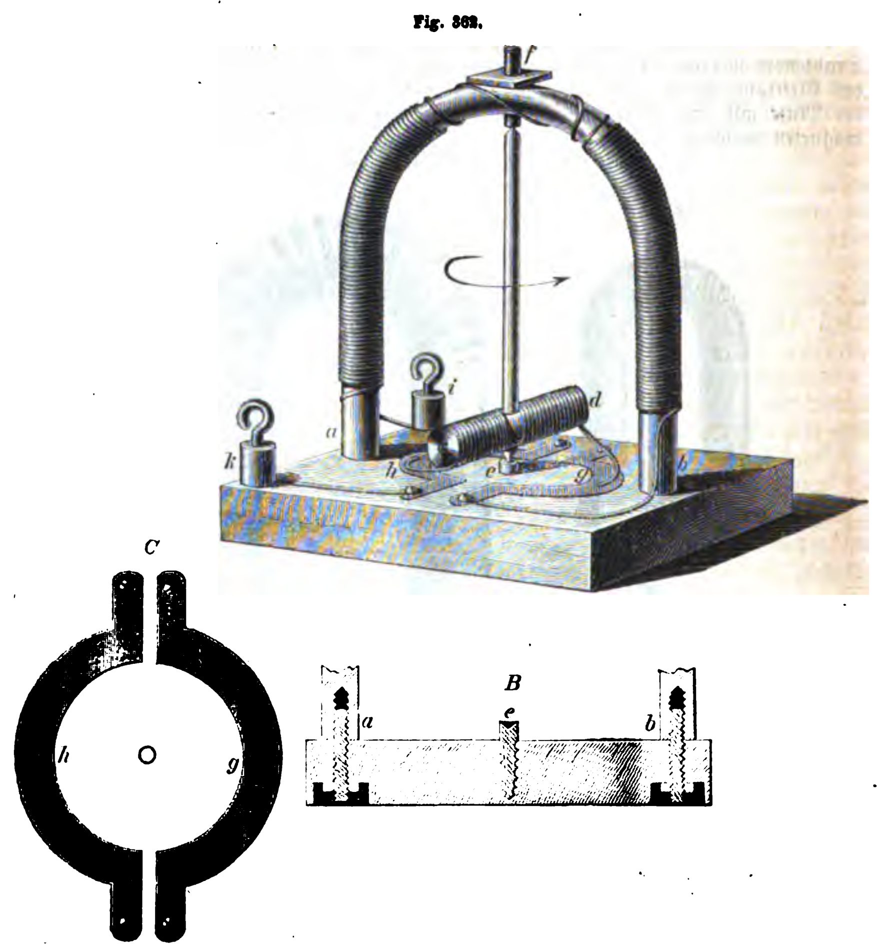
Der zweite Elektromagnet, welcher dem beweglich aufgehängten genähert werden soll, bekommt dieselbe Größe wie jener; nur läßt man die Drahtenden etwas länger und biegt sie nicht erst nach der Mitte des Elektromagneten zu um.

Das Magnetischwerden eines Eisenstücks, d. i. die Gleichrichtung seiner Ampère'schen Ströme beim Annähern an ein schon magnetisches Eisenstück heißt **magnetische Vertheilung**. In Fig. 357 A kann a einen Elektromagneten mit seinen Strömen, b ein gewöhnliches Eisenstück vorstellen; es wird das dem Südpole s_1 dem Elektromagneten zugewendete Ende des Eisenstücks n_2 durch die Gleichrichtung der Ströme zu einem Nordpol: **die magnetische Vertheilung ruft in dem einem Magnetpole genäherten Ende eines Eisenstückes immer den entgegengesetzten Pol hervor.**

Ein Elektromagnet, dessen Eisenstück die Form eines **U** oder |_| hat, ein sogenannter **Hufeisenelektromagnet**, vermag ein Eisenstück, welches seine

beiden Pole verbindet, mit ganz bedeutender Kraft festzuhalten. Ein solches Eisenstück nennt man einen Anker. Die beiden Pole des Elektromagneten unterstützen sich gegenseitig in ihren Wirkungen auf den Anker. Ist z. B. der links befindliche Pol des Elektromagneten ein Süpol, so sucht er das ihm anliegende Ende des Ankers zu einem Nordpol, das andere zu einem Südpol zu machen. Dieses zweite Ende des Ankers aber befindet sich vor

Fig. 362.



A a. P. 1/3 nat. Gr., B, C 1/2 nat Gr.

dem Nordpol des Elektromagneten, der ebenfalls das Bestreben hat, es zu einem Südpol zu machen. Durch diese gleichzeitige Einwirkung beider Pole wird in dem Anker eine vollkommenere magnetische Vertheilung erzeugt, als bei der Einwirkung eines einzelnen Poles; infolgedessen zieht jeder Pol des Elektromagneten stärker an, als wenn er einzeln wirkt: die gemeinschaftliche Anziehung beider Elektromagnetpole gegen einen Anker ist mehr als doppelt so stark, als die Anziehung eines einzelnen Poles.

Ein durch den Strom eines Bunsen'schen oder Grove'schen Elementes erregter, ganz kleiner Elektromagnet, Fig. 361 A, vermag mittelst eines Ankers schon eine Belastung von einigen Hundert Grammen zu tragen; ein größerer Hufeisenelektromagnet, Fig. 361 B, trägt mit demselben Strome schon eine ziemliche Anzahl Kilogramme. Man hat riesige Elektromagnete hergestellt, deren Hufeisen aus einer gebogenen Locomotivaxe besteht und mit großen Mengen starken Kupferdrahtes umwunden ist; ein solcher Elektromagnet besitzt, wenn der Strom einer großen, kräftigen Kette seine Drathwindungen durchfließt, eine Tragkraft von mehreren Tausend Kilogrammen.

Es sind sehr viele, verschiedenartige Vorrichtungen construirt worden, um die Anziehungskraft eines Elektromagneten zur Erzeugung einer fortdauernden Bewegung zu benutzen[78]; eine ganz einfache solche Vorrichtung zeigt Fig. 362 A. Ein Hufeisenelektromagnet a b ist mit abwärts gekehrten Polen auf einem Brettchen befestigt; zwischen seinen Schenkeln befindet sich ein gerader Elektromagnet c d, der sich um eine senkrechte Axe drehen kann, welche an beiden Enden in Spitzen ausläuft; die untere Spitze läuft in einer kleinen Vertiefung des Metallstücks e, die obere in einer Vertiefung der Schraube f, die durch den Elektromagneten a b hindurchgeht. Die Drahtenden des Elektromagneten c d schleifen auf den beiden nahezu halbkreisförmigen Metallstücken g und h. Der Strom geht von der Klemmschraube i, in welcher man den einen, von der Kette kommenden Leitungsdraht befestigt, nach dem Ende a des Elektromagneten a b, umkreist die beiden Schenkel desselben, geht dann nach g, von da um den geraden Elektromagneten c d, von diesem nach h und von hier nach der Klemmschraube k, in welche der zweite Leitungsdraht der Batterie eingeschraubt wird. Ist i mit dem positiven Pole der Batterie verbunden, so ist a Südpol, b Nordpol. So lange nun der Strom von dem Metallstück g nach dem Ende c d des geraden Elektromagneten geht, wird dieses zu einem Nordpol, d zu einem Südpol. Es werden sich also a und c einerseits, b und d andererseits anziehen, der bewegliche Elektromagnet dreht sich in der Richtung des Pfeils. Wenn die Pole von c d unveränderlich wären, würde diese Drehung aufhören, sobald c d in gerade Richtung zwischen a b gekommen wäre. In dem Augenblick aber, in welchem c d in diese Lage kommt, verlassen die auf g und h schleifenden Drähte diese beiden Metallstücke, die Leitung des Stromes wird unterbrochen, beide Elektromagnete werden unmagnetisch und die Anziehung hört auf. Der bewegliche Elektromagnet dreht sich infolge des Beharrungsvermögens noch ein Stück weiter, dabei kommt aber der von c heruntergehende Draht auf das Metallstück h und der von d heruntergehende auf g; der Strom wird wieder geschlossen, umkreist aber c d in umgekehrter Richtung wie vorher; c wird jetzt Südpol und d Nordpol. Es wird also nun c von a und d von b abgestoßen; da sich c jetzt etwas vor a und d etwas hinter b befindet, so bewirkt diese Abstoßung ebenfalls eine

[78] Kleine derartige Apparate wirken verhältnißmäßig besser, als größere; um eine Sirene in Drehung zu versetzen oder eine Flüssigkeit in einem kleinen Gefäße mittelst eines Schaufelrades umzurühren und zu ähnlichen Zwecken können elektromagnetische Bewegungsapparate ganz zweckmäßig sein. Zur Leistung großer Arbeit (als Ersatz der Dampfmaschine) sind sie jedoch nicht brauchbar; weil ihre Wirkung nicht in dem Maße wächst, wie ihre Größe und die Unterhaltung der zur Erzeugung eines starken, galvanischen Stromes nöthigen Batterie viel kostspieliger ist, als die Heizung des zur Dampferzeugung nöthigen Kessels.

Drehung in der Richtung des Pfeiles. Sobald c d wieder in die Richtung zwischen a und b kommt, wechselt es wieder die Pole und auf diese Weise dauert die Drehung fort.

Den Elektromagneten Fig. 361 A macht man aus 5^{mm} dickem Eisendraht, den man im glühenden Zustande mit dem Holzhammer über das Sperrhorn des Schraubstocks Fig. 49 oder über ein in den Schraubstock Fig. 48 gespanntes Stückchen Rundeisen umbiegt. Nachdem die Polflächen glatt gefeilt sind, beklebt man die mit Draht zu bewickelnde Fläche des Eisens mit Papier und beginnt dann mit dem Umwickeln von $0^{mm},6$ dickem besponnenen Draht in der Mitte der Biegung. Man wickelt bis an den einen Pol, dann in einer zweiten Lage von dem Pol bis in die Mitte zurück, von da bis an den zweiten Pol und wieder nach der Mitte zurück. Das innere Ende des Drahtes wird durch den darüber gewickelten Draht festgehalten; das äußere Ende kann man mit etwas Zwirn fest binden, wenn es Neigung zeigt, sich wieder abzuwickeln; gewöhnlich klemmt es sich von selbst zwischen die benachbarten Windungen fest. Der Anker wird aus einem Stückchen Stabeisen in die aus der Figur ersichtliche Form gefeilt, durchbohrt und mit einem Haken zum Anhängen von Gewichten versehen.

Der dünne Draht dieses kleinen Elektromagneten erwärmt sich durch den Strom eines kräftigen Elementes merklich, durch den von zwei Elementen so stark, daß man den Elektromagneten nicht dauernd in der Hand halten kann. Schon der Strom eines Meidinger'schen Elementes reicht hin, eine Tragkraft von etwa 50^{gr} hervorzurufen; wickelt man nicht zwei, sondern vier Lagen Kupferdraht auf den Elektromagneten, so trägt er mit einem solchen Strome gegen 200^{gr}.

Für die größeren Elektromagnete Fig. 361 B und a b in Fig. 362 wird man sich die Hufeisen beim Schlosser aus dünnem Rundeisen müssen biegen lassen; auch den Anker für Fig. 361 B lasse man sich vorschmieden, so daß man nicht zu viel daran zu feilen hat. Zum Umwickeln nimmt man Draht, der (ohne Umspinnung gemessen) 1^{mm} stark oder noch etwas stärker ist; eine Lage dieses Drahtes reicht aus, um mit dem Strome zweier kräftiger Elemente eine bedeutende Tragkraft zu bekommen. (Der Strom eines Meidinger'schen Elementes ist zu schwach, um auf ein so großes Eisenstück bei einer so geringen Zahl von Windungen eine merkliche Wirkung zu äußern.) Eine besondere Befestigung dieses dicken Drahtes ist nicht nöthig; wenn die Windungen dicht nebeneinander und straff aufgewickelt werden, hält der Draht von selbst.

Das Hufeisen zu der Vorrichtung Fig. 362 wird mit 3 Löchern versehen, in welche Schraubengewinde geschnitten wird; eines kommt in die Mitte der Biegung zur Aufnahme der Schraube f; zwei andere Löcher kommen in die Enden der Schenkel des Hufeisens. In diese letzteren werden Messingstifte eingeschraubt, die zur Befestigung auf dem Fußbrett dienen; sie werden, wie Fig. 362 B zeigt, durch Löcher dieses Brettes gesteckt und von unten mit messingenen Muttern festgezogen. Genau in der Mitte zwischen den Schenkeln a und b wird das Metallstück e eingesetzt. Man stellt es am einfachsten aus einer kurzen, dicken Holzschraube her, von der man den Kopf absägt. Die Schnittfläche feilt man eben, schlägt in ihrer Mitte mit dem Körner eine Vertiefung ein und bohrt diese noch etwas tiefer. Zum Einschrauben in das Holz, das natürlich vor der schließlichen Befestigung des Elektromagneten a b geschieht, wird die Holzschraube in den Feilkloben gespannt.

Die Schraube f macht man aus Fußstahl; das untere Ende wird wie e mit einer Vertiefung versehen, das obere mittelst der Bogenfeile mit einem Einschnitt zum Einsetzen des Schraubenziehers versehen. Damit diese Schraube durch das Zittern bei dem Gange der Vorrichtung ihre Stellung nicht ändert, ist auf sie noch eine viereckige Mutter — sogenannte Gegenmutter — aufgesetzt, die fest gegen das Eisen des Elektromagneten geschraubt wird, sobald f die richtige Stellung hat.

Der Eisenkern zu dem geraden Elektromagnet c d soll 2^{mm} kürzer sein, als der Abstand der Schenkel a und b; er wird in der Mitte schön gerade durchbohrt und das Loch mit der Reibahle soweit ausgeweitet, daß ein als Drehaxe dienendes, gerades Stück Fußstahl streng hineingeht. Dieses Stahlstäbchen wird an beiden Enden

kegelförmig spitz gefeilt; die Spitzen müssen recht glatt sein, daß sie sich in den Vertiefungen von e und f möglichst leicht drehen; in die Vertiefungen giebt man ein Tröpfchen Oel. Die Befestigung des Stahlstäbchens in dem Eisenkern geschieht durch Schnellloth.

Die bogenförmigen Metallstücke g und h meiselt und feilt man aus 1^{mm} starkem Messingblech in die Form zurecht, welche Fig. 362 C in der Ansicht von oben zeigt. Die an den Enden der Bogen vorstehenden Ansätze dienen zur Befestigung; sie werden auf das Fußbrett mit rundköpfigen Holzschrauben aufgeschraubt; unter die Köpfe dieser Holzschrauben kommen zugleich die nöthigen Leitungsdrähte, die man zu runden Oesen biegt, unter die mit l bezeichnete Holzschraube der von dem Schenkel b des Elektromagneten kommende Draht, unter m der nach der Klemmschraube k führende.

Damit beim Gang des Apparates die schleifenden Drähte des Elektromagneten e d möglichst leicht über den Zwischenraum zwischen g und h hinweggehen, füllt man diesen mit zwei Stückchen Holz aus, die man in diesen Zwischenraum hineinklemmt. Man schneidet sie zunächst so breit, daß sie sich streng zwischen g und h hineinschieben lassen und nimmt erst nach dem Einschieben von ihrer Dicke (Höhe) so viel weg, daß sie mit den Metallstücken eine ebene Fläche bilden. Bei oft wiederholtem Gebrauche setzt sich auf diesen Holzstücken eine Schicht von abgeriebenem Metall an; sie müssen dann einmal erneuert werden. Damit sie zwischen den Metallstücken ordentlich fest halten, giebt man diesen etwas abgeschrägte Ränder, so daß der Zwischenraum unten etwas breiter ist, als oben.

Die von c d heruntergehenden Drähte müssen so gebogen sein, daß sie gerade auf den zwischen den Metallbogen befindlichen Holzstücken aufliegen, wenn c d in gerader Richtung zwischen a und b steht und daß sie bei jeder anderen Stellung von c d auf den Metallbogen ordentlich, aber nicht zu fest aufliegen; würden sie dieselben nicht berühren, so könnte kein Strom durch den Apparat gehen; drücken sie zu stark auf, so ist die Reibung zu groß, als daß der Apparat in Bewegung kommen könnte.

Die erforderliche Stärke des Stromes hängt ganz davon ab, wie genau der Apparat gearbeitet ist; für einen recht sauber gearbeiteten Apparat reicht der Strom eines einzigen Grove'schen oder Bunsen'schen Elementes aus; mit zwei solchen Elementen läßt sich ein nur halbweg gut gearbeiteter Apparat in Bewegung setzen.

Die wichtigste Anwendung des Elektromagnetismus ist die zur **Telegraphie**, d. h. zur schnellen Uebermittelung von Nachrichten nach entfernten Orten. Sie beruht auf der großen Forpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität und darauf, daß die Anziehungskraft eines Elektromagneten augenblicklich auftritt, sobald ein Strom denselben umkreist, und augenblicklich verschwindet, sobald der Strom unterbrochen wird.

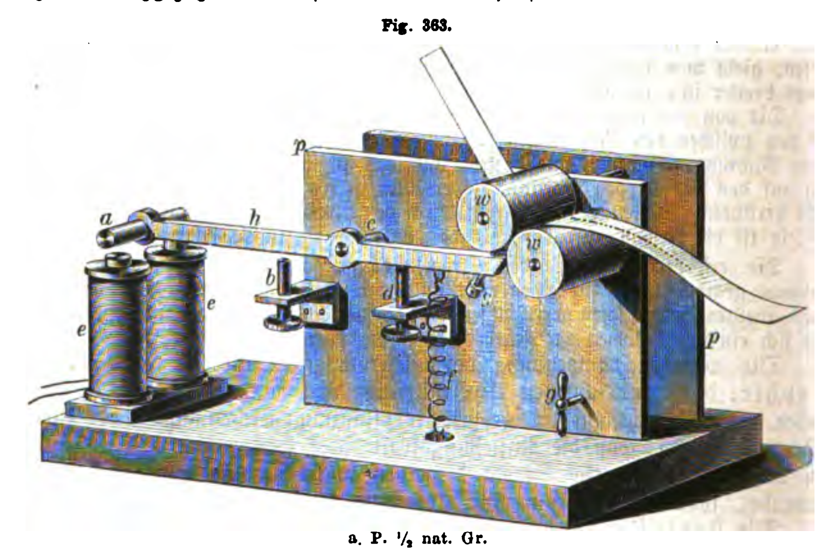
Die **Fortpflanzungsgeschwindigkeit des galvanischen Stromes** ist zwar bedeutend kleiner, als die des Entladungsstromes der Verstärkungsflasche, weil die Spannung der galvanisch erregten Elektricität viel kleiner ist, als die der Reibungselektricitat; immerhin aber hat man in Telegraphenleitungen eine Geschwindigkeit des Stromes von 3700 Meilen in der Secunde gefunden, so daß die Zeit, welche der Strom braucht, um Leitungen von vielen Meilen Länge zu durchlaufen, eine ganz verschwindend kleine ist.

Wenn der Anker eines durch einen Strom in Thätigkeit versetzten Elektromagneten an den Polen desselben anliegt, so verschwindet die Anziehungskraft nicht sofort mit der Unterbrechung des Stromes vollständig; der Anker bleibt, wenn er nicht stark belastet ist, auch nach der Stromunterbrechung hängen, bis man ihn abreist. Ist er einmal abgerissen, so haftet er nicht wieder, die Anziehungskraft ist verschwunden und kann nur durch neue Einwirkung des Stromes wieder hervorgerufen werden. Für die Benutzung des Elektromagnetismus zur Telegraphie ist es sehr wichtig, eine Fortdauer der Anziehungskraft über die Zeit der Stromeinwirkung zu verhindern; dies geschieht dadurch, daß man den Anker nicht mit den Polflächen des Magneten in

Berührung kommen läßt. Bei den Elektromagneten Fig. 361 kann man die Fortdauer der Anziehung einfach dadurch verhindern, daß man ein dünnes Papierblatt zwischen die Polflächen und den Anker bringt; es fällt dann der Anker in dem Augenblick ab, in dem man den Strom unterbricht; freilich ist auch die Tragkraft bei Zwischenlegung des Papierblattes eine bedeutend geringere, als ohne dasselbe.

Stellt man eine galvanische Kette an einem Orte auf, führt von dem einen Pole derselben eine lange Leitung zu einem entfernten Elektromagneten und von diesem eine zweite Leitung zurück nach dem zweiten Pol der Kette, so kann man, indem man die Leitung unterbricht oder wieder schließt, den entfernten Elektromagneten in jedem beliebigen Augenblicke unmagnetisch oder magnetisch machen. Befindet sich in geringem Abstande von den Polen dieses Elektromagneten ein Anker, der durch eine nicht zu starke Feder vom Elektromagneten weggezogen wird, so wird beim Schließen des Stromes der Elektro-

Fig. 363.



a. P. 1/2 nat. Gr.

magnetismus die Federkraft überwinden und den Anker nach dem Elektromagneten ziehen; dagegen wird beim Unterbrechen des Stromes die Feder den Anker wieder vom Elektromagneten entfernen. Man kann also durch beliebiges Schließen und Oeffnen der Kette den Anker des weit entfernten Elektromagneten beliebig hin und her bewegen und diese Bewegung wird bei der Telegraphie benutzt, um irgend welche Zeichen hervorzubringen, welche Buchstaben, Ziffern u. dergl. bedeuten und aus denen sich ganze Worte und Sätze zusammensetzen lassen.

Von den sehr zahlreichen und ganz verschiedenartigen Vorrichtungen, welche ersonnen worden sind, um mit Hülfe des Elektromagnetismus zu telegraphiren, kann hier nur eine berücksichtigt werden, der Morse'sche Schreibtelegraph (auch Morse'scher Drucktelegraph genannt). Auch dessen Einrichtung hat vielerlei Abänderungen erfahren; hier soll nur eine ganz einfache Einrichtung beschrieben werden, um ein ungefähres Bild von der Wirkungsweise des Telegraphen zu geben.

Ein Elektromagnet e e, Fig. 363 besteht aus zwei senkrechten, eisernen Säulchen, welche auf einer gemeinschaftlichen Fußplatte von Eisen stehen, die anstatt der Biegung des Hufeisens zur Verbindung der beiden Schenkel dient. Der spiralförmige Draht ist nicht unmittelbar auf das Eisen, sondern auf zwei kleine, hölzerne Spulen gewickelt, welche auf die Schenkel aufgeschoben sind. Ueber den Polen des Elektromagneten schwebt der Anker a. Dieser sitzt an einem Ende des Schreibhebels h, dessen Axe c sich in zwei Löchern der Messingplatten p p dreht. Das andere Ende des Schreibhebels trägt eine schief nach oben gerichtete Stahlschraube mit stumpfer Spitze, den sogenannten Schreibstift s. Die Feder f zieht das rechte Ende des Schreibhebels abwärts. Die Stellschrauben b und d dienen, den Spielraum des Hebels zu begrenzen; b verhindert das linke Ende des Hebels sich soweit abwärts zu bewegen, daß der Anker die Pole des Elektromagneten berührt; d verhindert eine zu große Entfernung des Ankers von den Polen. Ueber dem Schreibstift befinden sich zwei kleine Walzen w w, welche durch ein zwischen den Platten p p liegendes Uhrwerk (die untere in der Richtung eines Uhrzeigers) umgedreht werden. Das Uhrwerk kann beliebig still gehalten und wieder in Gang gesetzt werden mit Hülfe einer Hemmungsvorrichtung, die durch Drehen des Griffes g nach links oder nach rechts in oder außer Thätigkeit gesetzt wird. Läßt man das Uhrwerk laufen, so führen die Walzen w w den zwischen sie geklemmten Papierstreifen vorwärts; ein großer Vorrath dieses Streifens befindet sich auf einer leicht drehbaren, oberhalb des Apparates angebrachten Rolle, von der er sich nach Bedürfniß abwickelt.

Geht ein Strom durch den Elektromagneten, so wird der Anker angezogen und dadurch der Schreibstift s gegen den Papierstreifen gedrückt. Die obere der beiden Walzen ist in der Mitte mit einer rund herumlaufenden, kleinen Rinne versehen, so daß der mittelste Theil des Papierstreifens hohl liegt; der Schreibstift macht in diesen hohl liegenden Theil des Papiers einen Eindruck, eine punktförmige Vertiefung. Wird der Strom nicht nur einen Augenblick, sondern eine kleine Weile geschlossen und also auch der Schreibstift eine kleine Weile gegen den Papierstreifen gedrückt, während dieser durch die Drehung der Walzen w vorwärts geführt wird, so bringt der Schreibstift nicht nur einen Punkt, sondern einen in die Länge gezogenen Eindruck, einen Strich hervor.

Durch beliebiges augenblickweises oder etwas andauerndes Schließen des Stromes lassen sich also Punkte oder Striche auf dem Papierstreifen hervorbringen; dadurch daß man zwischen den einzelnen Schließungen kürzere oder längere Pausen macht, entstehen zwischen den Strichen und Punkten kleinere und größere Zwischenräume. Aus solchen Strichen nnd Punkten sind nun die Zeichen für die einzelnen Buchstaben, Ziffern, Interpunktionszeichen u. s. w. zusammengesetzt, so bedeutet z. B.

·— a	··—· f	·—·· l	——·— q	···— v
—··· b	——· g	—— m	·—· r	·—— w
—·—· c	···· h	—· n	··· s	·——··· x
—·· d	·· i	·—··· o	— t	·———·· y
· e	—·— k	····· p	··— u	·——·· z

Die einzelnen Zeichen, welche zu einem Buchstaben gehören, werden durch kleine Zwischenräume getrennt, die Buchstaben durch etwas größere, die Worte

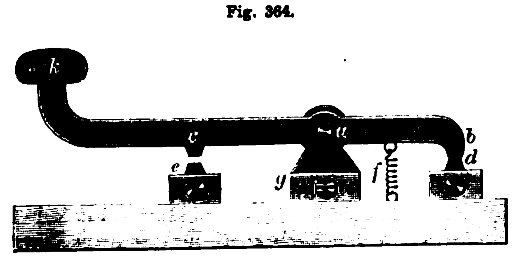
durch noch größere Zwischenräume. Die Worte „Morse'scher Telegraph" sehen in telegraphischen Zeichen folgendermaaßen aus:

—— ·—··· ·—· ··· · ··· —·—· ···· · ·—·

— · ·—·· · ——· ·—· ·— ····· ····

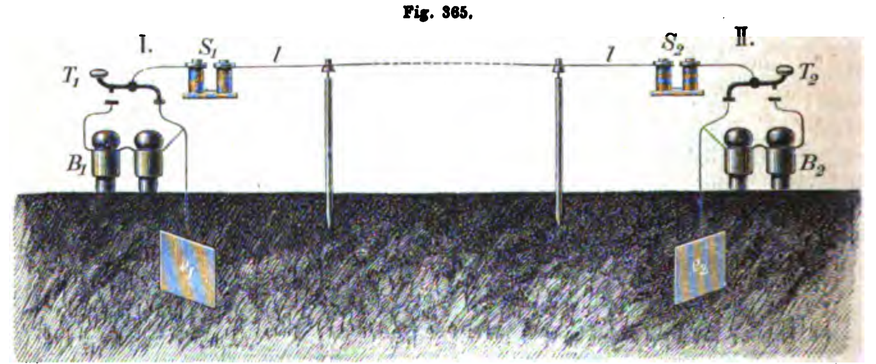
Zur Schließung und Unterbrechung des Stromes dient der Morse'sche Schlüssel oder Taster, Fig. 364. Ein metallner Hebel ist um die Axe a drehbar; eine Feder f zieht für gewöhnlich das Ende b abwärts; durch Drücken auf den Knopf k kann das andere Ende des Hebels niedergedrückt und b gehoben werden. Bei b und c trägt der Hebel abwärts gerichtete Knöpfchen von Stahl oder Platin, welche sich, wenn das betreffende Ende niedergedrückt ist, auf ähnliche Knöpfchen an den Metallstücken d und e aufsetzen. Die willkürlich herstellbare Berührung zwischen diesen Knöpfchen nennt man den Contact und zwar die Berührung zwischen b und d, welche stattfindet, wenn der Taster sich selbst überlassen ist, den Ruhecontact, die Berührung zwischen c und e, welche beim Drücken auf den Knopf des Tasters

Fig. 364.



1/4 nat. Gr.

Fig. 365.



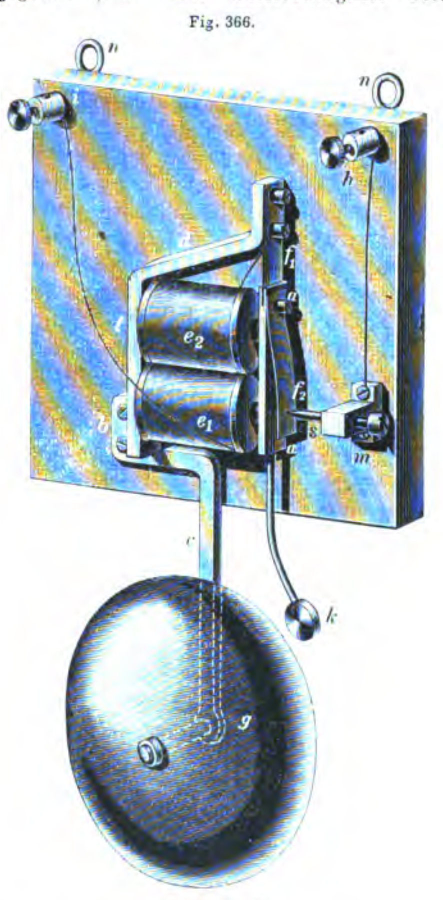
erfolgt, den Arbeitscontact. Die Metallstücke d und e und das Stück g, welches die Axe des Tasterhebels trägt, sind mit Klemmschrauben zum Ansetzen von Leitungsdrähten versehen; gewöhnlich sind dies einfache Schrauben mit breiten Knöpfen, unter welche die zu Oesen gebogenen Drähte gelegt werden.

Für zwei unter einander zu verbindende Stationen I und II, Fig. 365 sind zwei galvanische Batterien, zwei Schreibapparate, zwei Schlüssel und zwei Leitungen erforderlich. Die eine Leitung wird durch Draht, gewöhnlich durch starken Eisendraht gebildet; als zweite Leitung dient die Erde.[79]

[79] Es ist früher bemerkt worden, daß außer den Metallen und einigen anderen starren Körpern nur sauere und salzige Flüssigkeiten den galvanischen Strom erträglich

An jeder Station ist eine Metallplatte e_1 und e_2 in die feuchte Erde gegraben; durch Drähte wird der Strom nach diesen Metallplatten, durch die Erde von einer Metallplatte zur andern geleitet. B_1 und B_2 sind die beiden Batterien, T_1 und T_2 die Taster, S_1 und S_2 sollen die Elektromagnete der beiden Schreibapparate bedeuten, deren übrige Theile der Einfachheit der Zeichnung wegen nicht mit angegeben sind. Die Elektromagnete beider Stationen sind unter einander verbunden durch die Drahtleitung l l, welche an Stangen befestigt und mit Hülfe von Glas- oder Porcellanglocken isolirt ist. Von jedem Elektromagneten geht dann die Leitung weiter nach der Dreh-axe des Morse'schen Schlüssels. Der Ruhecontact jedes Schlüssels ist in Verbindung mit der Erdleitung und mit einem Pole der galvanischen Batterie; von dem zweiten Pole der Batterie geht ein Leitungsdraht nach dem Arbeitscontact des Schlüssels. Solange beide Taster in Ruhe sind, kann kein Strom durch die Leitung gehen, weil jede Kette nur mit einem Pole mit der Leitung in Verbindung ist, Fig. 365. Wird der Knopf des Tasters auf einer Station niedergedrückt, z. B. auf Station I, so geht der Strom von der auf dieser Station stehenden Batterie nach dem Arbeitscontact, durch den Tasterhebel nach der Axe des Tasters, von dieser nach dem Elektromagneten des Schreibapparates auf Station I, durch die Leitung l l nach der Station II und um den Elektromagneten herum, von diesem nach der Axe des Tasters, nach dem Ruhecontact desselben, nach der Erdplatte e_2, durch die Erde nach e_1 und von da nach der Batterie zurück. Mit geringer Ueberlegung ist zu

Fig. 366.



a. P. 1/2 nat. Gr.

---

gut zu leiten vermögen, während gewöhnliches Wasser ein zu schlechter Leiter für dasselbe ist. Die Erde leitet noch weniger gut, als das Wasser. Es läßt sich aber das gute Leitungsvermögen eines Körpers auch ersetzen durch eine große Dicke desselben — Eisen leitet weniger gut, als gleich dickes Kupfer, ein dicker Eisendraht aber ebensogut, wie ein dünner Kupferdraht — und so wirkt die Erde wegen ihres fast unbegrenzt großen Querschnittes als ziemlich guter Leiter, trotz des geringen Leitungsvermögens, welches sie an und für sich besitzt.

finden, welchen Weg der Strom der Batterie B_2 nimmt, wenn der Taster T_2 niedergedrückt wird, während T_1 in Ruhe ist.

Jedesmal, wenn auf einer Station ein Taster niedergedrückt wird, geht ein Strom durch die Leitungen und macht die Elektromagnete beider Schreibapparate magnetisch. Die durch kurzes und längeres Niederdrücken gebildeten Punkte und Striche werden sich also auf Papierstreifen beider Stationen gleichmäßig zeigen. Um nicht unnöthig Papier zu verbrauchen, läßt man die Uhrwerke nicht fortwährend laufen, sondern setzt sie erst in Gang, wenn eine Nachricht durch den Telegraphen gegeben werden soll.

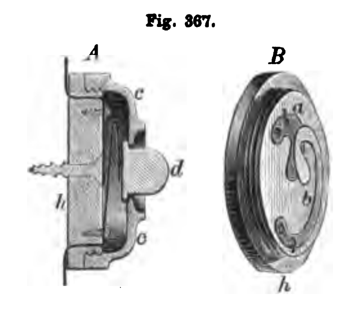
Will der Beamte von Station I nach Station II telegraphiren, so drückt er mehrmals hinter einander seinen Taster nieder; die dadurch hervorgerufene Bewegung der Schreibhebel macht durch das klappernde Geräusch, welches sie veranlaßt, auf Station II den Beamten aufmerksam, daß sein Apparat eine Depesche aufnehmen soll; der Beamte setzt also das Uhrwerk in Gang und giebt seinerseits durch mehrmaliges Drücken des Tasters, welches wieder ein Klappern der Schreibhebel bewirkt, das Zeichen, daß er zum Empfange des Telegramms bereit ist. Nun erst drückt der Beamte von Station I seinen Taster in der Weise und in solchen Pausen wieder, daß dadurch auf den Papierstreifen beider Stationen die Striche und Punkte in der gewünschten Abwechselung und in den gehörigen Abständen entstehen. Bei der wirklichen Anwendung der Telegraphie im Großen kommen noch eine Menge Hülfsvorrichtungen in Anwendung, welche hier übergangen werden müssen. Auch die Anordnung der Leitungen ist eine verwickeltere, da es sich darum handelt, mehr als nur zwei Stationen miteinander zu verbinden.

Eine recht zweckmäßige Verwendung findet der Elektromagnetismus bei den sogenannten Haustelegraphen oder elektrischen Klingeln. Fig. 366 zeigt die Einrichtung eines elektrischen Klingelwerks. Ein Elektromagnet e_1 e_2 besteht aus zwei von Spulen mit übersponnenem Kupferdraht umgebenen Eisenstäbchen, welche in einem eisernen Träger t eingeschraubt oder eingeniethet sind. Dieser Träger bildet mit seinem mittelsten Theile den mittelsten Theil des Elektromagneten; er verbindet anstatt der bei Hufeisenelektromagneten vorhandenen Biegung die beiden Schenkel und hat drei Fortsätze, mit deren einem b er auf das Brettchen aufgeschraubt ist, das dem Ganzen als Unterlage dient, während der zweite c die Glocke g, der dritte d eine Feder f_1 trägt. Diese Feder trägt wieder den Anker a a und dieser ein dünnes Metallstäbchen mit einem Knopf k, der zum Anschlagen an die Glocke dient. Auf der von den Polen des Elektromagneten abgewendeten Fläche des Ankers ist eine zweite Feder f_2 befestigt, die mit schwachem Druck an der Spitze der Messingschraube s anliegt. Das diese Schraube tragende Messingstück m ist mit der einen Klemmschraube h durch einen Draht leitend verbunden; an der anderen Klemmschraube i ist das eine Ende des um den Elektromagneten gewickelten Drahtes verbunden; das andere Ende desselben ist unter eine der Schrauben geklemmt, welche die Feder f_1 halten. Die Ringe n n dienen, um die Vorrichtung an zwei in einer Wand eingeschlagenen Nägeln oder Häkchen aufzuhängen. Zum Schutz vor Staub und Beschädigungen ist der Elektromagnet sammt dem Anker, den Federn und der Schraube s mit einem hölzernen Kästchen bedeckt, das in der Figur weggelassen ist. Die untere Wand dieses Kästchens hat zwei Ausschnitte, um den Arm, welcher die Glocke trägt und den Stiel des Klöppels durchzulassen. Verbindet man die Klemmschrauben h und i mit den Polen einer galvanischen Kette, so

durchläuft ein Strom die Vorrichtung und zwar geht er, wenn i mit dem positiven Pole verbunden ist, von i nach den Drahtspulen e_1 und e_2, von e_2 nach f_1, von f_1 durch den Anker a nach f_2 und von da durch s und m nach h; ist h mit dem positiven Pole verbunden, so läuft der Strom in umgekehrter Richtung. Sobald aber der Strom den Elektromagneten umkreist, zieht dieser den Anker an und bringt dadurch den Klöppel k zum Anschlagen an die Glocke; zugleich aber kommt die Feder f_2 außer Berührung mit der Schraube s, der Strom wird unterbrochen und der Elektromagnet verliert seine Anziehungskraft. Nun treibt die Elasticität der Feder f_1 den Anker zurück, f_2 kommt wieder in Berührung mit s, der Strom wird wieder geschlossen und das Spiel beginnt von neuem. Solange also h und i mit den Polen der Batterie in Verbindung sind, wird der Anker in fortdauernder, rascher, hin- und hergehender Bewegung erhalten, der Klöppel k schlägt in schneller Aufeinanderfolge an die Glocke g und bringt diese zum lebhaften Tönen.

Wären h und i in dauernder Verbindung mit den Polen der Batterie, so würde die Klingel unaufhörlich fortklingeln; es wird deshalb der eine der beiden Leitungsdrähte an einer Stelle unterbrochen durch einen Taster oder Contact, welcher ein bequemes Schließen der Kette gestattet. Einen solchen Taster zeigt Fig. 367 A im Durchschnitt, während B eine Ansicht seiner innern Theile giebt. Eine runde Platte von Holz h ist mit einer in der Mitte durchgehenden Schraube auf einem in die Wand eingeschlagenen Dübel befestigt. Diese Platte trägt zwei Stückchen Messingblech, deren eines a mit seiner ganzen Fläche auf dem Holze aufliegt, während das andere, federnde b nur mit einem Ende auf das Holz aufgeschraubt ist, im übrigen aber etwas davon absteht. Der Rand von h ist mit Schraubengewinde versehen und darauf ein Deckel c c aufgeschraubt. Dieser Deckel hat in der Mitte ein Loch, durch welches ein Knopf von Porcellan d hindurchgeht, der durch das federnde Blechstreifchen b mit seinem Rande an den Deckel angedrückt wird. Drückt man mit dem Finger auf den Knopf, so biegt dieser die Feder b nieder und bringt sie in Berührung mit a. Die Drahtenden der Leitung, in welche der Taster eingeschaltet werden soll, werden durch Löcher in der Platte h geschoben und unter die Köpfe der Schrauben eingeklemmt, welche zur Befestigung der Blechstücke a und b dienen. Durch das Niederdrücken des Knopfes wird also eine leitende Verbindung zwischen den beiden Theilen der Drahtleitung hergestellt. Der Taster wird an dem Ort angebracht, von dem aus die Klingel in Bewegung gesetzt werden soll; die Batterie kann an irgend einem passenden Orte, entweder in der Nähe des Tasters oder in der Nähe der Klingel oder auch irgendwo zwischen beiden aufgestellt werden. Den einen Pol verbindet man nun mit einer der Klemmschrauben an der Klingel; die andere Klemmschraube wird mit dem einem Blechstreifchen des Tasters und das zweite Blechstreifchen desselben mit dem zweiten Pole der Batterie verbunden. Dann durchläuft beim Drücken auf den Tasterknopf der Strom die Leitung

Fig. 367.

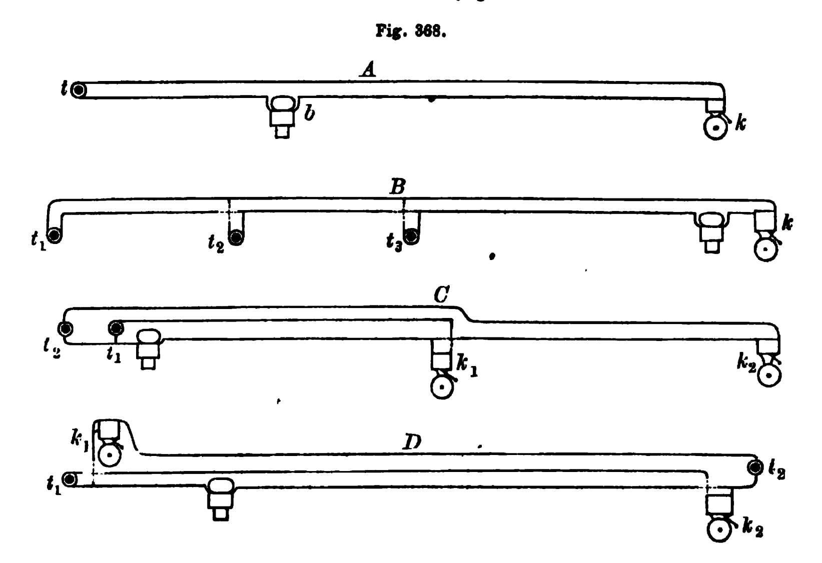


A 1/2 nat. Gr., B a. P. 1/2 nat. Gr.

und setzt die Klingel in Bewegung, welche solange dauert, bis die Leitung durch Loslassen des Knopfes wieder geöffnet wird.

Fig. 368 A deutet die Verbindung des Tasters t, der Klingel k und der Batterie b an. Man benutzt für diese Haustelegraphen immer Meidinger'sche Elemente, welche einen völlig genügenden Strom liefern und nur etwa alle Jahre ein Mal neu hergerichtet zu werden brauchen. Wenn nicht sehr lange Leitungen vorkommen, so ist der Strom eines Elementes zur Ingangsetzung einer einfachen Klingel ausreichend. Zu den Leitungen benutzt man immer Kupferdraht, weil Eisendraht zu leicht durchrostet und dann bricht, wenn er nicht sehr dick ist und sich seiner Steifigkeit wegen nicht so leicht anbringen läßt, als der geschmeidigere Kupferdraht, der überdies auch besser leitet. Häufig findet Draht Anwendung, der mit farbiger Baumwolle umsponnen und noch mit Wachs oder Firniß überzogen ist. Dieser Ueberzug hat theils den Zweck, die Farbe des Drahtes derjenigen der Wand ähnlich zu machen, an welcher die Leitung hinläuft, theils soll er zur besseren Isolirung des Drahtes dienen. Den letzteren Zweck erfüllt der Ueberzug nicht auf die Dauer, da er bald

Fig. 368.



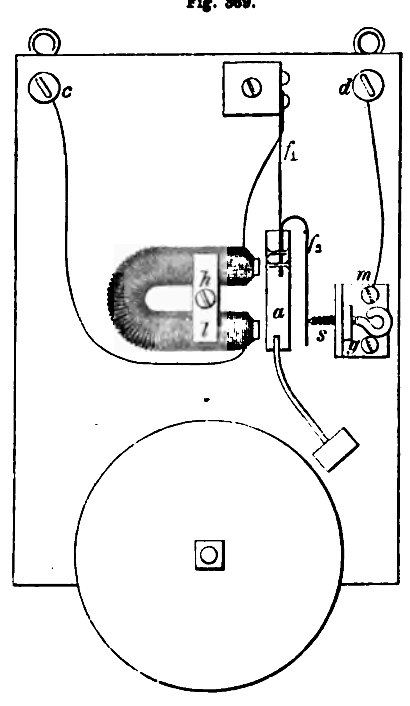
rissig wird und der Feuchtigkeit der Wände, wenn solche vorhanden ist, das Eindringen gestattet. Man kann ganz gut gewöhnlichen, unbesponnenen Kupferdraht von 1^{mm} Stärke zu Haustelegraphenleitungen benutzen, nur dürfen die verschiedenen Leitungsdrähte dann nicht zu nahe beisammenliegen. Die Wände, an denen man sie befestigt, sind keine vollkommenen Nichtleiter, es wird also ein kleiner Theil des Stromes von dem einen Leitungsdrahte durch die Wand zum anderen Drahte übergehen; laufen die Drähte in einem Abstand von 5 bis 6^{cm} von einander, so ist dies so unbedeutend, daß es nichts ausmacht, bei näher aneinanderliegenden Drähten aber würde es Störungen verursachen. Gewöhnlich befestigt man die Drähte an der Wand mit Hülfe kleiner Nägel oder Drahthäkchen, die man in den Bewurf des Mauerwerkes einschlägt und um welche man den Draht herumschlingt; noch besser ist es, in Abständen von je einigen Metern Holzleistchen von 12 bis 20^{mm} Dicke und 2 bis 4^{cm} Breite mit Dübeln an die Wand zu befestigen und die Drähte an kleinen, in die Leistchen geschraubten Holzschrauben auszuspannen, so daß sie die Wand gar nicht berühren.

Zuweilen werden beide (oder bei größeren Gebäuden mit verwickelten Haustelegraphenanlagen sogar viele) Leitungsdrähte unmittelbar aneinander gelegt und zwar hinter die am Fuße der Wände angebrachten Kehrleisten; natürlich kann dazu

nur mit einem isolirenden Ueberzug versehener Draht benutzt werden. Das ganze Verfahren ist aber nicht zweckmäßig; zwischen nahe beisammenliegenden Drähten entsteht doch nach kurzer Zeit, wenn der Ueberzug etwas rissig geworden ist und nur eine Spur Feuchtigkeit zutritt, ein wenn auch schwacher Uebergang des Stromes von einem Draht zum andern; der durch die Zersetzung der Feuchtigkeit ausgeschiedene Sauerstoff bewirkt eine starke Grünspahnbildung und zerstört dadurch nach und nach die Leitung. Jedes Verstecken der Leitungsdrähte ist an und für sich zu widerrathen; es erschwert im Falle einer eintretenden Beschädigung das Auffinden des Fehlers ganz außerordentlich.

Wo man die Leitungen durch eine Mauer hindurchführen muß, ist das dichte Zusammenlegen mehrerer Drähte nicht zu vermeiden; dann benutzt man mit Wachs, Asphalt oder Kautschuk überzogenen Draht und schiebt in das durch die Mauer gebohrte Loch eine Glasröhre, in welche erst die Drähte kommen, die dadurch vor Feuchtigkeit geschützt sind. Alle Zusammenfügungsstellen des Leitungsdrahtes (so in der Nähe einer Mauerdurchführung die Verbindungsstelle des umhüllten Drahtes mit dem zur weiteren Leitung dienenden, unbesponnenem Drahte) müssen mit Weichloth gelöthet werden.

Fig. 369.



1/2 nat. Gr.

In Fig. 368 B, C und D sind noch dreierlei etwas verwickeltere Haustelegraphenleitungen angedeutet. In Fig. B sind t_1, t_2 und t_3 drei an verschiedenen Punkten eines Gebäudes (in verschiedenen Zimmern) angebrachte Taster, welche alle die nämliche Klingel k in Thätigkeit setzen. In Fig. C sind t_1 und t_2 in einem Zimmer angebrachte Taster; ein Druck auf t_1 bringt die Klingel k_1, ein Druck auf t_2 die Klingel k_2 zum Tönen.

Fig. D giebt eine sogenannte Klingeleinrichtung mit Rückantwort an; ein Druck auf den Taster t_1 setzt die Klingel k_2, ein Druck auf den Taster t_2 setzt die Klingel k_1 in Bewegung. Es sei dem Scharfsinne des Lesers überlassen, den Weg, den der Strom in den verschiedenen Fällen nimmt, zu verfolgen. Bemerkt sei nur, daß da, wo ein Stück der Leitung punktirt gezeichnet ist, der eine Draht über den anderen hinweggeht, ohne mit ihm in leitender Berührung zu sein. Solche Kreuzungen der Drähte ohne Berührung derselben stellt man so her, daß man über den einen Draht ein hölzernes Leistchen nagelt und den zweiten Draht über dieses Leistchen führt oder so, daß man über beide Drähte kurze Stücke Kautschukschlauch schiebt, die an der Kreuzungsstelle mit etwas Zwirn festgebunden werden können, wenn die Drähte nicht so dicht an der Wand anliegen, daß ein Verschieben dieser Schlauchstücke unmöglich ist.

Eine Einrichtung einer elektrischen Klingel, die man leicht selbst machen kann, zeigt Fig. 369. Der Elektromagnet besteht aus einem hufeisenförmig gebogenen Stück von 5 bis 6^{mm} dickem Eisendraht, das man mit 4 bis 6 Lagen von $0^{mm},6$ dickem, besponnenen Kupferdraht umwickelt. Er wird auf einem Brettchen befestigt mit Hülfe einer langen Holzschraube h, die durch ein kleines, 3 bis 4^{mm} dickes Holzleistchen l

hindurchgeht. Durch Anziehen der Schraube klemmt man den Elektromagneten fest, nachdem man ihm vorher die richtige Lage gegeben hat. Der Anker a wird aus einem Stückchen Stabeisen zurecht gefeilt und an einem Ende mit einem der Länge nach eingebohrten dünnen Loch, am andern Ende mit einem Sägeeinschnitt und zwei quer durchgebohrten Löchern versehen, die man beiderseits mit dem Versenker etwas kegelförmig erweitert. (Fig. 369 zeigt den Anker im Durchschnitt, während die übrigen Theile der Figur in äußerer Ansicht gezeichnet sind.) In das an einem Ende des Ankers gebohrte Loch löthet man einen 2^{mm} starken Messingdraht, dessen anderes Ende eingelöthet ist in ein Loch, das quer durch ein 6^{mm} dickes, 12^{mm} langes Stück Messingdraht gebohrt ist. Das kurze, dicke Messingstück dient als Klöppel. Von dünnem Messingblech werden zwei 6^{mm} breite Streifchen geschnitten, federnd gehämmert und mit den nöthigen Löchern zur Befestigung versehen. Beide Streifchen schiebt man gemeinschaftlich in den Schlitz des Ankers und befestigt sie durch zwei messingene Nieten. Es werden zwei ausgeglühte Stücke Messingdraht von solcher Dicke, daß sie streng hineingehen, in die durch den Anker gebohrten Löcher und zugleich also durch die Löcher der Messingstreifen gesteckt, außen in solcher Länge abgeschnitten, daß sie auf jeder Seite etwa $0^{mm},5$ über den Anker vorstehen und dann werden diese Enden durch kräftiges Hämmern breit geschlagen und in die kegelförmigen Erweiterungen der Nietenlöcher hineingetrieben; was über diese Löcher schließlich noch vorsteht, entfernt man mit der Feile. Nach dem Einnieten der federnden Blechstreifchen biegt man das eine f_2 um, wie es die Figur zeigt und befestigt das andere f_1 mittelst zweier kleinen, rundköpfigen Holzschrauben an einem viereckigen Holzklötzchen, das durch eine lange Holzschraube auf dem die ganze Vorrichtung tragenden Brettchen angeschraubt wird. Das Loch im Klötzchen, durch welches die Holzschraube geht, muß so weit sein, daß man das Klötzchen vor dem völligen Anziehen der Schraube um diese drehen kann, um ihm die richtige Lage zu geben. Unter den Kopf einer der beiden Holzschrauben, welche die Feder f_1 halten, klemmt man das (natürlich hier von seiner Umspinnung befreite) eine Ende des Elektromagnetendrahtes mit fest. Das andere Ende dieses Drahtes wird unter einer Klemmschraube c befestigt, welche zum Ansetzen des einen Leitungsdrahtes dient; die andere Klemmschraube d ist durch einen Draht verbunden mit dem rechtwinkelig gebogenen, 3^{mm} dicken Messingstück m, durch das die Schraube s hindurchgeht. Diese Schraube trägt noch eine kleine viereckige Gegenmutter g, welche man streng anzieht, nachdem s in die richtige Stellung gebracht worden ist. Die Glocke (eine große Weckerglocke oder noch besser eine flache Glocke aus gehämmerten Stahlblech, wie sie jetzt häufig im Handel vorkommen) wird an einem 3^{mm} starken, seiner ganzen Länge nach mit Schraubengewinde versehenen Messingdraht befestigt, dessen eines Ende in das Brettchen eingeschraubt ist. Auf den Draht schraubt man eine kleine, viereckige Mutter, legt auf diese die Glocke und preßt sie durch eine zweite solche Mutter fest. Die Glocke soll so weit von dem Brettchen entfernt sein, daß der Klöppel ziemlich am Rande der Glocke anschlägt.

Bei der Zusammenstellung der Vorrichtung bringt man zuerst die Glocke an, richtet dann das die Feder mit Anker und Klöppel tragende Holzklötzchen so, daß der Klöppel 2 bis 3^{mm} von der Glocke absteht und schraubt es in dieser Lage fest und befestigt zuletzt den Elektromagneten so, daß der Anker seine Polflächen noch nicht ganz berührt, wenn man den Klöppel an die Glocke andrückt. Die Schraube s muß so gestellt werden, daß sie ein wenig auf die Feder f_2 drückt, wie stark, ermittelt man durch Probiren, während c und d mit den Polen eines Meidinger'schen Elementes in Verbindung sind.

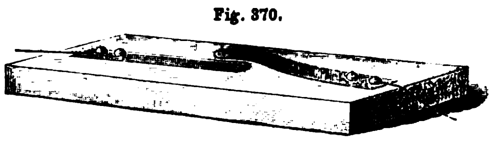
Die Feder f_2 soll womöglich etwas schwächer sein, als f_1. Sie ist nothwendig, um eine kräftige Bewegung des Ankers und somit des Klöppels zu ermöglichen. Wäre f_2 nicht vorhanden und s berührte unmittelbar den Anker, so würde, sobald dieser nur im geringsten sich bewegte, die Berührung aufgehoben, der Strom unterbrochen werden. Der Anker würde dann zurückgehen, den Strom wieder schließen, von neuem angezogen werden u. s. f.; er würde aber immer nur einen ganz kleinen Weg durchlaufen und durch seine zitternde Bewegung blos ein summendes Geräusch hervorbringen. Die Feder f_2 aber giebt etwas nach, wenn der Anker angezogen wird;

sie unterhält noch einige Zeit die leitende Berührung mit s und hebt sich von s erst ab, wenn der Anker schon einen etwas größeren Weg durchlaufen hat. Dadurch kommen Anker und Klöppel in lebhafteren Schwung, letzterer schlägt kräftig an die Glocke an und dann werden beide durch die Elektricität der Feder f_1 wieder kräftig zurückgetrieben; f_2 legt sich wieder an s an und wird etwas zusammengedrückt; der Strom wird also wieder auf einige Zeit geschlossen und das Spiel wiederholt sich von neuem.

Einen ganz leicht herzustellenden Taster zeigt Fig. 370. Von zwei Stückchen Messingblech, die auf ein Brettchen aufgeschraubt sind, ist das eine (in der Figur dasjenige rechts) federnd gehämmert und etwas gebogen; die Enden der Leitungsdrähte werden zu Oesen umgebogen und unter die Köpfe der äußeren Holzschrauben geklemmt. (Ein solcher in die Leitung eingeschalteter Taster zum beliebigen Schließen des Stromes ist bei mancherlei galvanischen und elektromagnetischen Versuchen recht gut zu benutzen, z. B. bei den Versuchen über galvanisches Glühen und beim Gebrauch der Apparate Fig. 343 bis 345, 351 bis 354, 361 und 362. Für diesen Zweck versieht man ihn am besten mit zwei Klemmschrauben von der in Fig. 337 E abgebildeten Art, die man anstatt der beiden äußeren Holzschrauben einschraubt).

Die Fünkchen, welche bei der Unterbrechung eines Stromes auftreten, bewirken eine Art Verbrennung, ein Rosten des Metalles an der Unterbrechungsstelle, wenn diese nicht aus einem ganz unverbrennlichen Metalle besteht. Es müssen deshalb die sich nur zeitweilig berührenden Theile der Klingel und des Tasters, also die Enden der Feder f_2 und der Schraube s Fig. 369 und die Enden der beiden Messingstreifen in Fig. 370 von Zeit zu Zeit durch Abreiben mit etwas Smirgelpapier geputzt oder aus Platin hergestellt werden. Soll eine Klingel nur dazu dienen, ihre Wirkungsweise kennen zu lernen und nicht in dauernden Gebrauch genommen werden, so kann man sich die Anwendung des Platins ersparen, anderenfalls müssen auf die Enden von f_2 Fig. 369 und von den Messingstreifen in Fig. 370 kleine Blättchen von nicht zu dünnem Platinblech mit Weichloth aufgelöthet werden und die Schraube s Fig. 369 muß eine kurze Spitze aus dickem Platindraht bekommen, den man in ein feines, eingebohrtes Loch mit Weichloth einlöthet.

Fig. 370.



a. P. 1/2 nat. Gr.

Beim Löthen des Platins erhitze man nicht zu stark; das Platin an und für sich ist zwar außerordentlich schwer schmelzbar, mit dem Weichloth bildet es aber bei starkem Erhitzen eine ziemlich leichtflüssige Legirung.

52. Magnetismus. Schon bei den Wirkungen der Entladungsstromes der Verstärkungsflasche (S. 403) haben wir gelernt, daß eine Nadel von hartem Stahle durch spiralförmiges Herumleiten eines elektrischen Stromes die Eigenschaft erhält, Eisentheilchen anzuziehen, aber nicht nur auf die Dauer des Stromes, wie unsere im vorigen § besprochenen Elektromagnete, sondern bleibend. Viel stärker magnetisch wird eine Stahlnadel, wenn man sie kurze Zeit in die Spirale Fig. 353 bringt und der Einwirkung eines Stromes von zwei kräftigen Elementen aussetzt. Ein etwas dickeres, 4 bis 5 cm langes Stückchen Fußstahl, das man durch Glühendmachen und rasches Abkühlen gehärtet hat, erlangt bei gleicher Behandlung eine noch bedeutendere Anziehungskraft, als die dünne Nadel.

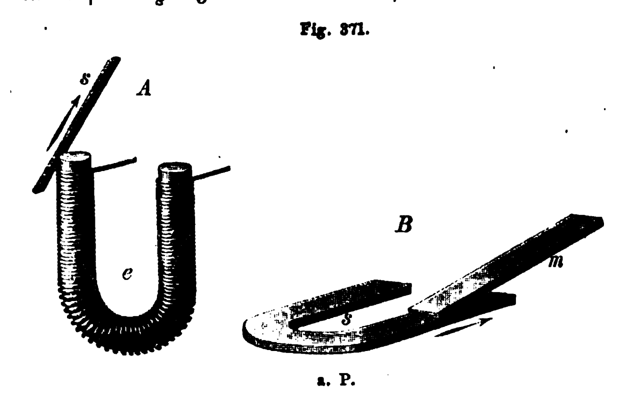
Ein Stück von hartem Stahle, welches die Eigenschaft besitzt, Eisen anzuziehen, heißt ein permanenter Magnet oder kurzweg ein Magnet. Man nimmt an, daß im harten Stahl ebensogut Ampère'sche Ströme vorhanden sind, wie im weichen Eisen; daß dieselben aber schwerer beweglich[80] und des-

[80] Die Kraft, welche diese Ströme im harten Stahle in der Lage zu halten sucht, welche sie gerade haben, nennt man Coërcitivkraft.

halb einestheils nicht so leicht aus der gewöhnlichen regellosen Lage in gleiche Richtung zu bringen sind, als die des weichen Eisens, anderntheils aber, wenn sie die gleiche Richtung angenommen haben, sie auch von selbst beibehalten. Ein permanenter Magnet verhält sich in jeder Beziehung einem Elektromagneten ähnlich; er nimmt, wenn er frei beweglich aufgehängt ist, die Nordsüdrichtung an, zeigt die Anziehung entgegengesetzter und die Abstoßung gleicher Pole und bewirkt in weichem Eisen, welches man ihm nähert oder an ihn anlegt eine magnetische Vertheilung.

Im harten Stahle ist eine Vertheilung viel schwerer hervorzurufen, als im Eisen. Hängt man an einen permanenten Magneten oder Elektomagneten mehrere kleine, gehärtete Stückchen von Fußstahl, so zeigt sich, daß schon das erste weniger kräftig angezogen wird, als ein gleich großes Eisenstückchen; erst nach einiger Zeit erlangt es die Fähigkeit, ein zweites Stückchen zu tragen und es kann ziemlich lange dauern, ehe dieses so stark magnetisch wird, daß es ein drittes Stückchen trägt.

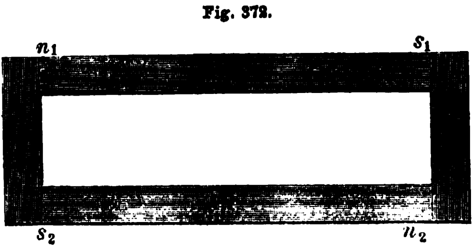
Fig. 371.



a. P.

Schneller und vollkommener, als durch einfaches Anhängen an einen Magneten kann man ein Stahlstück magnetisch machen durch Streichen mit permanenten oder noch besser mit einem Elektromagneten. Man streicht das zu magnetisirende (gerade oder hufeisenförmige), harte Stahlstück mit einem Pole von der Mitte aus wiederholt bis nach dem einen Ende und dann ebenso oft mit dem andern Pole von der Mitte aus bis nach dem anderen Ende. Je nach Bequemlichkeit kann man dabei entweder das magnetisch zu machende Stahlstück festhalten und den Magneten darüber hinführen oder auch umgekehrt verfahren. In jedem Falle halte man die beiden Körper nicht rechtwinkelig gegeneinander, sondern so, daß der permanente Magnet oder Elektromagnet einen spitzen Winkel mit dem Theile des zu streichenden Stahlstücks bildet, nach dem man hin streicht. In Fig. 371 A ist e ein Elektromagnet, an dem der magnetisch zu machende Stahlstab s in der Richtung des Pfeiles hingeführt wird, in Fig. 371 B ist s ein stählernes Hufeisen, welches mit dem permanenten Magneten m in der Richtung des Pfeiles gestrichen wird.

Fig. 372.



a. P.

Wie beim Elektromagneten, so ist auch beim permanenten Magneten die

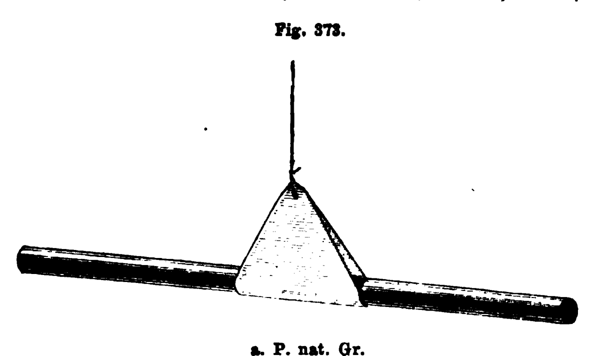
Tragkraft eines Hufeisens mehr als das Doppelte von der Tragkraft der einzelnen Pole.

Wenn ein Magnet beim längeren Aufbewahren nicht von seiner Kraft verlieren soll, so muß er mit einem Anker von weichem Eisen versehen werden, den man an seine Pole anlegt. Stabmagnete stellt man am besten paarweise her und versieht sie behufs der Aufbewahrung mit zwei Ankern, von weichem Eisen, wie Fig. 372 zeigt.

Ganz kleinen Magneten (aus Fußstahl) giebt man einen runden Querschnitt, größere erhalten zweckmäßiger einen flach viereckigen Querschnitt.

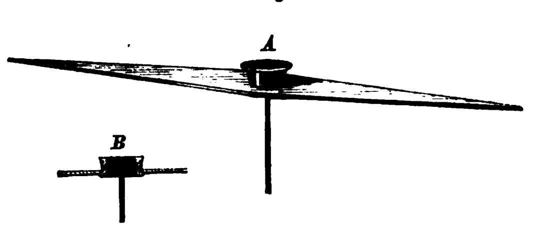
Stahl, welcher nicht ordentlich gehärtet ist und Gußeisen stehen in ihrem Verhalten in der Mitte zwischen hartem Stahle und weichem Schmiedeisen; sie werden nicht so schnell durch Vertheilung magnetisirt, wie dieses und behalten ihren Magnetismus einige Zeit, aber nicht so dauernd wie harter Stahl. Ein Eisenerz, das sogenannte Magneteisenerz, läßt sich durch Herumleiten eines Stromes oder durch Vertheilung ebenso gut dauernd magnetisch machen, wie Stahl. Zuweilen findet man in der Natur Stücke von Magneteisenerz, die schon von selbst magnetisch sind, sogenannte natürliche Magnete. Diese natürlichen Magnete und mittelst derselben durch Streichen hergestellte Stahlmagnete waren längst bekannt, ehe man den Zusammenhang des Magnetismus mit der Elektricität kannte und vom Galvanismus irgend etwas wußte.

Fig. 373.



a. P. nat. Gr.

Fig. 374.



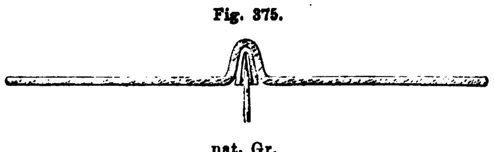
A a. P. nat. Gr., B nat. Gr.

Um zu beobachten, daß ein Magnet eine bestimmte Richtung annimmt, hängt man ein magnetisches Stahlstückchen in einem zusammengebogenen Papierstück mittelst eines (womöglich ungedrehten) Fadens auf, Fig. 373 oder bedient sich einer Magnetnadel Fig. 374 A, die aus einem flachen, beiderseits zugespitzten Stahlstückchen besteht, das in der Mitte mit einem sogenannten Hütchen zum Aufsetzen auf eine Nadelspitze versehen ist. Das Hütchen, in Fig. 374 B im Durchschnitt gezeichnet, ist ein durchbohrter Knopf von Messing, mit einem eingesetzten Plättchen von Achat oder Carneol, das an der unteren Seite eine flache kegelförmige Höhlung hat, in welche sich die Nadelspitze einsetzt, auf der die Magnetnadel spielen soll. Die käuflichen

Magnetnadeln sind gewöhnlich blau angelassen und dann auf der einen Hälfte wieder blank geschliffen, so daß man sich leicht merken kann, welches Ende der Nordpol und welches der Südpol ist. An einem magnetischen Stückchen Fußstahl kann man sich das eine Ende durch ein angeklebtes oder umgewickeltes Papierstückchen oder durch Anstreichen mit Siegellacklösung (vergl. S. 391) kenntlich machen, um bei den Versuchen über Anziehung und Abstoßung zu wissen, welchen Pol man vor sich hat. Man hängt zunächst ein Stäbchen auf, um an diesem nach der Richtung, welche es annimmt, die Pole zu bestimmen, nimmt es dann aus dem Papierhalter und ersetzt es durch ein zweites, um auch an diesem die Pole kennen zu lernen und nähert dann einen Pol des ersten einem Pole des zweiten Stäbchens.

Will man eine auf einer Nadelspitze drehbare Magnetnadel selbst machen, so macht man ein Stück von einer guten; dünnen, stählernen Stricknadel durch schwaches Ausglühen in Holzkohlenfeuer weich, biegt es wie Fig. 375 zeigt, macht es nochmals glühend und löscht es wieder ab, um es zu härten und magnetisirt es dann durch Streichen mit einem Elektromagneten oder permanenten Magneten. Ein Stückchen Glasröhre wird zu einer Spitze ausgezogen, und zwar in der Flamme der Lampe, damit die Spitze nicht lang wird, sondern bald abschmilzt. Das zugeschmolzene, etwas kegelförmige Ende der Röhre wird nach dem Einritzen mit der Feile abgebrochen, soweit erwärmt, daß Siegellack darauf schmilzt und nach dem Erkalten des Siegellacks in die Biegung der Stahlnadel eingekittet, wobei man diese ebenfalls bis zum Schmelzpunkte des Siegellacks erwärmt. Das kegelförmige Glasröhrenstückchen dient als Hütchen, eine Stopfnadel, deren Oehr man in ein kleines Brettchen steckt, als Träger für die Magnetnadel. Schwebt die fertige Magnetnadel nicht wagrecht, so schleift man von dem Ende, welches zu schwer ist, auf einem Schleifsteine solange etwas weg, bis das Gleichgewicht hergestellt ist.

Fig. 375.



nat. Gr.

Daß ein drehbar aufgehängter Magnet eine bestimmte Lage gegen die Erde annimmt, läßt sich nur dadurch erklären, daß man die **Erde** selbst für einen **Magneten** ansieht. Die beiden magnetischen Pole der Erde liegen in der Nähe ihrer geographischen Pole, fallen aber nicht genau mit ihnen zusammen; darum stellt sich auch eine Magnetnadel nicht genau, sondern nur ohngefähr von Nord nach Süd. Da derjenige Theil eines Magneten Nordpol heißt, welcher sich nach Norden richtet und da wir wissen, daß **entgegengesetzte** Pole sich anziehen; so müssen wir denjenigen magnetischen Pol der Erde, welcher in der Nähe des geographischen Nordpols liegt, den **magnetischen Südpol** nennen; der **magnetische Nordpol** der Erde liegt in der Nähe des geographischen Südpoles.

Die Magnetpole der Erde verändern im Laufe der Jahrhunderte nach und nach ihre Lage; dabei muß sich natürlich auch die Richtung der Magnetnadel ändern. Der Winkel, um welchen die Längsrichtung einer drehbar aufgehängten Magnetnadel von der genauen Nordrichtung abweicht, heißt die **magnetische Declination** und zwar **östliche** und **westliche Declination** je nachdem der **Nordpol** der Magnetnadel etwas nach Ost oder West abweicht. In Deutschland findet sich westliche Declination und zwar beträgt sie in Mitteldeutschland gegenwärtig etwa 13°.

Eine Stahlnadel mit Hütchen, die vor dem Magnetisiren genau wagerecht schwebt, neigt sich, nachdem sie magnetisch gemacht ist, mit dem Nord-

pole etwas abwärts. Diese Neigung würde noch viel beträchtlicher sein, wenn die Nadel im Schwerpunkt aufgehängt wäre, anstatt in dem oberhalb des Schwerpunktes liegenden Mittelpunkte der kegelförmigen Höhlung des Hütchens. Eine mit einer horizontalen, genau durch den Schwerpunkt gehenden Axe versehene, also im indifferenten Gleichgewicht befindliche Nadel neigt sich in Mitteldeutschland nach dem Magnetisiren mit dem Nordpole um etwa 66° abwärts. Diese Neigung der Magnetnadel heißt Inclination. Da wir uns dem nördlich liegenden Pole der Erde, der nach dem oben Gesagten ihr magnetischer Südpol ist, näher befinden, als ihrem südlich liegenden magnetischen Nordpole, so wird der magnetische Südpol der Erde stärker auf die Nadel wirken, als der Nordpol; es wird deshalb der Nordpol der Nadel stärker angezogen, der Südpol stärker abgestoßen, als umgekehrt und darum nähert sich der Nordpol der Nadel der Erde, der Südpol entfernt sich von ihr.

Die Herstellung einer vor dem Magnetisiren ganz genau im indifferenten Gleichgewicht befindlichen Nadel, wie man sie braucht, um die Größe der magnetischen Inclination zu ermitteln, ist sehr schwer; handelt es sich nur darum, zu sehen, daß sich der Nordpol überhaupt abwärts zeigt, so genügt es, einen dünnen Zwirnfaden um die Mitte einer Stricknadel so festzuknüpfen, daß diese wagrecht schwebt, wenn man sie an dem Faden aufhängt. Damit sich der Faden beim Streichen der Nadel nicht verschiebt, kann man den um die Nadel zu schlingenden Theil mit etwas Wachs bestreichen. Sobald die Nadel magnetisch gemacht ist, nimmt sie beim Hängen eine stark geneigte Lage ein, wenn sie sich auch nicht so sehr neigt, wie es eine genau im Schwerpunkt aufgehängte Nadel thun würde.

Da die Erde selbst ein Magnet ist, so muß sie auch im Stande sein, in einem Stücke weichen Eisens eine magnetische Vertheilung hervorzurufen. Ein magnetischer Eisenstab wird in der That schwach magnetisch, wenn man ihn so hält, daß ein Ende desselben nach dem magnetischen Südpole der Erde gerichtet ist, d. i. so, wie sich eine vollkommen frei bewegliche Magnetnadel stellen würde, also mit einem Ende nach Norden und unter einem Winkel von etwa 66° abwärts. Daß das abwärts gerichtete Ende zu einem Nordpol, das obere zu einem Südpol wird, erkennt man bei der Annäherung an eine kleine Magnetnadel; das untere Ende des Eisenstabes stößt den Nordpol, das obere den Südpol derselben ab.

Je länger und dicker der Eisenstab ist, den man zu diesem Versuche benutzt, um so deutlicher ist das Magnetischwerden desselben zu erkennen. Am schönsten wirkt eine 0,5 bis 1^{m} lange, 2 bis 3^{cm} dicke Eisenstange; allenfalls kann aber auch ein Stäbchen von der Länge und Dicke eines etwas großen Bleistiftes dienen. Der Eisenstab muß geglüht und langsam abgekühlt sein, damit er ganz weich ist. Zur Prüfung der durch Vertheilung hervorgerufenen Pole darf man nur eine kleine, schwach magnetische Nadel nehmen, weil sonst diese Nadel selbst eine Vertheilung in dem Eisenstabe hervorrufen und in jedem Falle eine Anziehung bewirken würde. Bei der Lage, welche der Stab haben muß, um möglichst gut durch die Vertheilung vom Erdmagnetismus aus magnetisch zu werden, kann man sein unteres Ende beiden Polen einer auf einer Spitze spielenden Magnetnadel nähern, das obere Ende aber nur dem Nordpol und auch diesem nur, wenn die Nadel an der Kante eines Tisches aufgestellt ist; will man die Abstoßung des Südpoles der Nadel durch das obere Stabende zeigen, so benutzt man am besten eine an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängte Nadel, welche wie die in Fig. 375 gezeichnete gebogen, aber nicht mit Hütchen versehen, sondern an der Biegungsstelle aufgeknüpft ist. Soll ein Eisenstab öfter zu diesem Versuche dienen, so verwende man ihn zu keinem anderen Zwecke, sondern hebe ihn beim Nichtgebrauch in wagrechter Lage und ohngefähr von Ost nach West gerichtet auf. Wenn ein Ende eines Eisen- oder Stahlstücks andauernd einem magnetischen

Pole der Erde etwas mehr zugewendet ist, als das andere, so wird das Stück mit der Zeit etwas permanent magnetisch, besonders wenn es zugleich Erschütterungen ausgesetzt ist; Meisel, Blitzableiterstangen u. s. w. sind oft merklich magnetisch. Zu den Versuchen über Vertheilung durch den Erdmagnetismus darf der Eisenstab nicht im mindesten magnetisch sein. Den völlig unmagnetischen Zustand des Stabes erkennt man daran, daß jedes Ende desselben beide Pole der Magnetnadel gleichmäßig anzieht, wenn man den Stab horizontal und von Ost nach West gerichtet hält.

Leitet man den Strom einer galvanischen Kette in der Nähe einer beweglichen Magnetnadel vorbei, so wird diese aus ihrer Ruhelage herausgehen; eine Ablenkung erleiden, wenn nicht gerade der Strom dieselbe Richtung hat, wie die ihm zunächst liegenden Theile der Ampère'schen Ströme der Nadel. Liegt der Leitungsdraht über der Magnetnadel und der Strom ist von Nord nach Süd gerichtet, so wird der Nordpol der Nadel nach rechts abgelenkt.[81] Die Ablenkung ist um so beträchtlicher, je stärker der Strom ist; bei sehr starkem Strome kann sich die Nadel fast rechtwinklig gegen ihre ursprüngliche Lage stellen.

Schon mit ganz schwachem Strom läßt sich eine bedeutende Ablenkung erzielen bei Anwendung einer astatischen Doppelnadel, Fig. 376. Zwei möglichst gleiche Magnetnadeln n_1 s_1 und n_2 s_2 sind so verbunden, daß ihre Pole nach entgegengesetzten Seiten gerichtet sind; wären die beiden Nadeln genau gleich stark magnetisch, so würde sich ihr Bestreben, die Richtung von Nord nach Süd anzunehmen, gegenseitig aufheben; die an einem Faden schwebende Doppelnadel würde in jeder Richtung stehen bleiben. Eine solche völlige Gleichheit beider Nadeln kommt aber nicht vor, immer ist die eine etwas stärker magnetisch, als die andere und das Ganze richtet sich nun so, daß die stärkere Nadel ihre richtige Lage annimmt, die schwächere verkehrt steht.

Fig. 376.

n_1 s_1 s_2 n_2

nat. Gr.

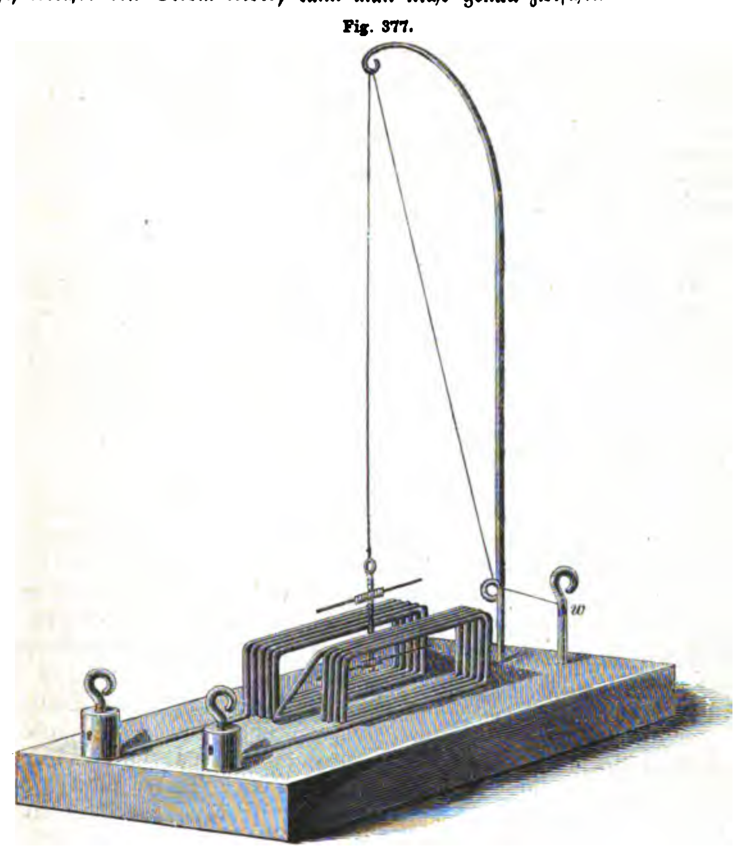
Da die Doppelnadel in ihrer Lage nicht durch die ganze Kraft einer Nadel, sondern nur durch den geringen Kraftüberschuß der einen über die andere gehalten wird, so ist sie sehr leicht aus ihrer Lage zu bringen. Ein schwacher Strom, den man über der oberen oder unter der unteren Nadel

[81] Welche Ablenkung in jedem Falle eintritt, kann man leicht finden mit Hülfe eines runden Holzstäbchens, welches die Magnetnadel versinnlichen soll und auf dessen Oberfläche man die Richtung der Ampère'schen Ströme aufgemalt und die Pole durch S und N bezeichnet hat. Dieses Stäbchen hält man so, daß die Richtung der aufgemalten Ströme der Richtung des Stromes in dem Leitungsdraht gleich wird; dadurch findet man die Lage, welche die Magnetnadel einnehmen würde, wenn sie nicht auch von dem Erdmagnetismus beeinflußt würde. In Wirklichkeit nimmt nun die Nadel eine Stellung ein, welche zwischen ihrer natürlichen Ruhelage und der durch das Holzstäbchen gefundenen in der Mitte liegt. Eine Gedächtnißregel, nach der man in jedem Falle die Ablenkung leicht finden kann, lautet: Man denke sich in den Leitungsdraht eine kleine, menschliche Figur so eingeschlossen, daß der Strom vom Kopf nach den Füßen geht und die Figur dem Nordpol der Nadel das Gesicht zuwendet, so wird der Nordpol nach der rechten Seite der Figur abgelenkt.

hinführt, dreht sie schon bedeutend auf die Seite, am stärksten aber ein Strom, den man zwischen beiden Nadeln hinführt, denn dieser sucht beide Nadeln nach derselben Richtung abzulenken, wie sich aus der Regel der Anm. 81 leicht ergiebt.

Eine astatische Doppelnadel macht man aus zwei gleich langen Stücken einer Stricknadel, die man durch Streichen magnetisirt und durch Umwinden eines dünnen Kupferdrahtes so verbindet, wie Fig. 376 zeigt. Aufgehängt wird die Doppelnadel an einem dünnen, einfachen Seidenfaden, am besten an einem Coconfaden.[82] Den Draht, welcher den Strom leidet, kann man nicht genau zwischen die beiden Nadeln

Fig. 377.



a. P. ²/₃ nat. Gr.

halten, weil man dabei an das die Nadeln verbindende Drahtstück stoßen würde; man bringt ihn bis auf 1 oder 2^{mm} an dieses heran.

Der Strom eines Grove'schen oder Bunsen'schen Elementes bringt eine deutliche Ablenkung einer gewöhnlichen Magnetnadel hervor; für eine astatische Doppelnadel ist der Strom eines Meidinger'schen Elementes reichlich genügend.

---

[82] Sind die beiden Nadeln fast genau gleich stark und dabei einander nicht ganz genau parallel, so stellt sich das Ganze nicht von Süd nach Nord, sondern in eine etwas andere Richtung, was aber für die Ablenkungsversuche weiter nichts schadet.

Astatische Nadelpaare lassen sich zur Nachweisung der schwächsten Ströme benutzen, wenn man eine Drahtleitung mehrmals zwischen den beiden Nadeln hin und unter der unteren Nadel wieder zurückführt, so daß derselbe Strom mehrfach auf die Nadeln wirkt. Eine derartige Vorrichtung heißt ein Multiplicator oder Rheoskop. Einen ganz einfachen Multiplicator mit 10 Windungen aus starkem, übersponnenem Kupferdraht zeigt Fig. 377, ein solcher ist leicht herzustellen und läßt schon die Wirkung des schwachen Stromes, den ein Element der in Fig. 336 gezeichneten Kette giebt, deutlich erkennen.

Die Einrichtung und Herstellung dieses Multiplicators ist wol ohne weitere Erläuterung verständlich. Der Faden, an welchem die Doppelnadel hängt, ist durch zwei Ringe des Drahtes, der als Träger dient, nach dem Stifte w geführt, der mit ziemlicher Reibung in einem Loche des Fußbrettchens steckt; durch eine Drehung von w kann man von dem Faden etwas auf- oder abwickeln und dadurch die Doppelnadel etwas heben oder senken, um ihr die richtige Höhenlage zu geben. Das Ganze bedeckt man zur Abhaltung des Luftzuges zweckmäßig mit einer Glasglocke (allenfalls einer Flasche, deren Boden man abgesprengt hat), welche nur die Klemmschrauben freiläßt.

Bei größeren Multiplicatoren, wie sie zu manchen wissenschaftlichen Untersuchungen gebraucht werden, wird eine viel größere Zahl von Windungen feineren Drahtes verwendet. Der dünnere Draht, welcher nicht von selbst in der gewünschten Lage halten würde, wird auf zwei zu beiden Seiten der Doppelnadel liegende Rahmen gewickelt. Es giebt solche Multiplicatoren mit vielen Tausenden von Windungen; mit solchen Instrumenten lassen sich Ströme nachweisen, die außerordentlich viel schwächer sind, als die, mit welchen wir hier zu thun haben.

53. **Induction.** Ein elektrischer Strom kann unter Umständen in einem benachbarten Leiter, in dem an und für sich kein Strom vorhanden ist, einen solchen erzeugen; diese Wirkung eines Stromes nennt man Induction. Die Aufsuchung und Nachweisung der Gesetze, nach welchen die Induction vor sich geht, erfordert ziemlich zusammengesetzte Apparate; wir müssen uns hier begnügen, diese Gesetze einfach aufzuzählen und dann eine Vorrichtung kennen zu lernen, bei welcher sie ihre Anwendung finden. Die Gesetze sind folgende:

1. Wenn a) in einem von zwei parallelen Leitern ein Strom erzeugt wird, wenn b) ein von einem Strome durchflossener Leiter einem anderen, parallelen Leiter genähert wird oder wenn c) ein von einem Strome durchflossener Leiter, der mit einem anderen Leiter einen Winkel bildet, in parallele Lage mit diesem gebracht wird, so entsteht in dem zweiten Leiter ein Strom, welcher dem im ersten Leiter entgegengesetzt ist.

2. Wenn a) ein Strom, welcher in einem von zwei parallelen Leitern läuft, unterbrochen, wenn b) ein von einem Strome durchflossener Leiter von einem anderen, parallelen Leiter entfernt oder wenn c) der von dem Strome durchflossene Leiter aus der dem anderen Leiter parallelen Lage herausgebracht wird, so entsteht in dem zweiten Leiter ein Strom, welcher dem im ersten Leiter gleich gerichtet ist.

Der durch Induction hervorgerufene (inducirte) Strom dauert nicht etwa so lange, wie der, welcher ihn hervorruft (der inducirende Strom), sondern nur so lange, wie die Veränderung dauert, welche dieser erleidet. Der inducirte Strom, welcher beim Schließen und Unterbrechen des inducirenden Stromes entsteht, ist nur von sehr kurzer Dauer; der durch eine

allmählige Veränderung der Lage des inducirenden Stromes hervorgerufene, inducirte Strom kann etwas länger andauern. Solange ein Leiter von einem Strome von unveränderter Stärke durchflossen ist und seine Lage gegen einen benachbarten Leiter nicht ändert, bringt er in diesem gar keine Induction hervor.

Um durch Induction Ströme zu erzeugen, welche kräftig genug sind, um ohne besonders empfindliche Vorrichtungen wahrgenommen zu werden, wendet man zwei Leitungen in Form von Spiralen an, von denen eine die andere umgiebt. Es wirkt dann jede Windung der einen Spirale auf alle in der Nähe befindlichen Windungen der anderen Spirale und dadurch wird eine viel stärkere Wirkung erzielt, als wenn man zwei Leitungsdrähte lang nebeneinander ausspannen wollte, wobei jedes Stück des einen Drahtes nur auf das neben ihm liegende, gleich lange Stück des anderen Drahtes wirken könnte.

Diejenige Spirale, durch welche man den von einer galvanischen Kette kommenden, inducirenden Strom leitet, heißt die primäre Spirale und dieser Strom der primäre Strom. Die zweite Spirale, in welcher ein Strom durch Induction erzeugt werden soll, heißt die secundäre Spirale oder Inductionsspirale und der Strom der secundäre oder Inductionsstrom.

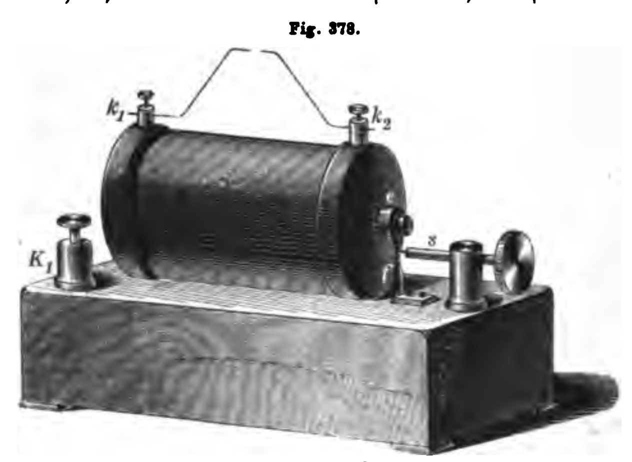
Gewöhnlich ist die Inductionsspirale weiter, als die primäre und umgiebt die letztere. Wird die primäre Spirale mit einer galvanischen Kette verbunden und der Strom geschlossen, so entsteht im Augenblick der Schließung in der Inductionsspirale ein dem primären Strome entgegengesetzter Inductionsstrom, der Schließungsstrom. In dem Augenblick, in welchem der primäre Strom wieder unterbrochen wird, entsteht in der secundären Spirale ein dem primären Strom gleichgerichteter Inductionsstrom, der Oeffnungsstrom. Die Inductionswirkung wird noch verstärkt, wenn man die primäre Spirale auf einen Stab von weichem Eisen windet. Dann werden nämlich beim Schließen des primären Stromes die regellos durcheinander liegenden Ampère'schen Ströme des Eisens in parallele Lage und gleiche Richtung mit dem primären Strome gebracht und bei der Unterbrechung des primären Stromes fallen sie aus der parallelen Lage in die unregelmäßige zurück. Nach den oben unter 1c und 2c aufgeführten Gesetzen wirkt aber das Parallelwerden der Ampère'schen Ströme und ihr Herausgehen aus der parallelen Lage ebenso, wie die Schließung und die Unterbrechung des primären Stromes; es muß also bei Anwendung der auf einen Eisenstab gewickelten primären Spirale eine Vereinigung dieser beiden Wirkungen stattfinden.[83]

Einen kleinen Inductionsapparat zur bequemen Erzeugung kräftiger Inductionsströme zeigt Fig. 378. Auf einem viereckigen, hölzernen Unter-

[83] Es giebt auch Vorrichtungen, bei welchen ein Inductionsstrom ganz ohne Anwendung eines galvanischen Stromes und einer primären Spirale hervorgerufen wird durch blose Wirkung der Ampère'schen Ströme im Eisen. Bei diesen Vorrichtungen (Magnetinductionsapparaten) ist ein Eisenkern unmittelbar von der Inductionsspirale umgeben; durch abwechselndes Nähern und Entfernen eines Stahlmagneten werden die Ampère'schen Ströme des Eisenkerns in parallele und wieder in regellose Lage gebracht und erzeugen durch diese Veränderung ihrer Lage Inductionsströme. Man hat sehr große solche Magnetinductionsapparate construirt, welche durch kleine Dampfmaschinen in Thätigkeit gesetzt werden und Ströme von solcher Stärke liefern, wie man sie sonst nur durch die stärksten galvanischen Batterien erhalten kann; derartige Apparate werden zum Beispiel benutzt, um für Leuchthürme elektrisches Kohlenlicht zu erzeugen.

bau liegt eine cylindrische Rolle, deren Enden durch runde Platten von schwarz polirtem Holz oder Horngummi gebildet sind. Diese Rolle enthält zu innerst ein Bündel Eisendrähte[84]; dieses ist umwunden von mehreren Lagen mäßig dicken, umsponnenen Kupferdrahtes, welche die primäre Spirale bilden und darüber sind noch sehr viele Windungen ganz feinen übersponnenen Drahts gewickelt, welche als Inductionsspirale dienen. Zu äußerst liegt eine Umhüllung von Glanzleinwand, welche zum Schutze des feinen Drahtes der Inductionsspirale dient. Die Enden dieses Drahtes führen nach den Klemmschrauben k_1 und k_2. In den links angebrachten, größeren Klemmschrauben, von denen in der Figur nur eine K_1 sichtbar ist, befestigt man die von der galvanischen Kette kommenden Leitungsdrähte. Die Klemmschraube K_1 ist in unmittelbarer Verbindung mit einem Ende des die primäre Spirale bildenden Drahtes, das andere Ende dieses Drahtes ist leitend verbunden mit der kleinen Feder f, welche ein dem Ende des Eisendrahtbündels gegenüberstehendes Eisenstückchen e trägt. An ein kleines, auf f aufgelöthetes Platinplättchen stößt die platinene Spitze der Schraube s. Das Säulchen, welches diese Schraube trägt, ist mit der (durch die Rolle verdeckten) Klemmschraube K_2 verbunden. Die Drähte, welche die verschiedenen Theile unter einander verbinden, sind im hölzernen Fuße des Apparates versteckt.

Fig. 378.



a. P. 1/2 nat. Gr.

Verbindet man K_1 und K_2 mit den Polen einer galvanischen Kette von genügender Stärke, so wird das Eisendrahtbündel magnetisch, zieht das Eisenstückchen e an und hebt dadurch die Berührung zwischen dem Platinplättchen und der Platinspitze auf, unterbricht also den Strom und verliert seinen Magnetismus wieder. Die Feder geht zurück, schließt den Strom wieder, das Eisendrahtbündel wird abermals magnetisch und so wiederholt sich derselbe Vorgang sehr schnell hintereinander, so lange K_1 und K_2 mit den Polen der Batterie in Verbindung sind. Die schnelle Hin- und Herbewegung von e und f bringt ein summendes Geräusch hervor; ist der Strom der Batterie kräftig genug, so sind an der Unterbrechungsstelle kleine Fünkchen zu sehen. Bei jeder Schließung und bei jeder Unterbrechung des primären Stromes entsteht in der secundären Spirale ein Inductionsstrom; diese sehr

[84] Es kann hier nicht erläutert werden, warum ein Bündel dünner Eisenstäbchen besser wirkt, als ein dicker, massiver Eisenstab; ebenso muß die Erläuterung der Wirkungsweise einer im hohlen Fußgestell versteckten, zur Erhöhung der Wirksamkeit des Apparates wesentlich beitragenden Vorrichtung unterbleiben.

schnell aufeinanderfolgenden Inductionsströme haben immer abwechselnd entgegengesetzte Richtung.

Die Inductionsströme sind von sehr kurzer Dauer, aber von beträchtlicher Spannung, sie vermögen Körper, welche nicht sehr gut leiten, viel besser zu durchlaufen, als der durch eine galvanische Kette unmittelbar erzeugte Strom. Auf den menschlichen Körper äußern sie eine sehr fühlbare Wirkung. Man befestigt in den Klemmschrauben k_1 und k_2 zwei Kupferdrähte, welche nach metallnen Handgriffen führen; nimmt man diese Handgriffe in beide Hände, so fühlt man eine andauernde Erschütterung, die Folge der immer von neuem auftretenden Inductionsströme.

Ein Meidinger'sches Element reicht allenfalls hin, um den Inductionsapparat Fig. 378 in Thätigkeit zu setzen und fühlbare Ströme zu geben; nur muß man die Schraube s sehr genau so stellen, daß die Platinspitze das Plättchen der Feder sehr leise berührt und muß die Stellen der Hände, mit denen man die Handgriffe berührt, etwas naß machen, um die Leitungsfähigkeit der Haut zu verbessern.

Eine auch mit trockenen Händen sehr fühlbare Wirkung erhält man, wenn man den Inductionsapparat durch ein Grove'sches oder Bunsen'sches Element in Thätigkeit versetzt. Wer für die Einwirkung der Elektricität empfindlich ist, fülle ein solches Element nur etwa zum vierten Theile mit Säure, sonst wird die Empfindung, welche die Inductionsströme hervorrufen, unangenehm stark. Starke Inductionsströme bringen eine krampfhafte Zusammenziehung der Muskeln hervor, so daß es eine starke Willensanstrengung kostet, die Hände zu öffnen und die metallenen Handgriffe fallen zu lassen.

Die Handgriffe macht man aus zwei viereckigen Stückchen Zink- oder Messingblech von 10 bis 12^{cm} Länge und 7 bis 8^{cm} Breite, die man der Breite nach so zusammenrollt (durch Klopfen mit dem Holzhammer auf einem runde Holze), daß sie eine 2 bis 2^{cm},5 weite Röhre bilden; die Zusammenfügungsstelle der Blechränder braucht nicht verlöthet zu werden. Zwei etwa 0^{mm},6 dicke, 0,5 bis 1^{m} lange, übersponnene Kupferdrähte befreit man an jedem Ende auf eine Länge von einigen Centimetern von der Umspinnung und löthet je ein Ende an der Innenfläche einer Blechröhre und das andere an ein 2^{cm} langes, 1^{mm} dickes Stück Kupferdraht an, das zum Einstecken in die Höhlung der Klemmschrauben k_1 und k_2 dient.

Benutzt man als primären Strom den Strom von ein oder zwei kräftig wirkenden Grove'schen oder Bunsen'schen Elementen, so werden die Inductionsströme so stark, daß sie sogar durch die nicht leitende Luft hindurchgehen können.

Zwei 1^{mm} dicke Drähte von Kupfer, Messing oder Eisen werden so gebogen und in die Klemmen k_1 und k_2 eingesetzt, wie Fig. 378 zeigt; wenn der Abstand zwischen den einander zugewendeten Theilen der Drähte nicht mehr als 1 bis 2^{mm} beträgt, so gehen die Inductionsströme zwischen ihnen in Form von Fünkchen über. Ein Inductionsapparat, der etwa doppelt so groß ist, als der in Fig. 378 angenommene, giebt sogar Funken von 6 bis 10^{mm} Länge. Mit den Funken eines Inductionsapparates kann man ganz dieselben Wirkungen hervorbringen, wie mit den Funken von Reibungselektricität. Schon die kleinen Fünkchen des Apparates Fig. 378 reichen hin, um Gas zu entzünden, die eines doppelt so großen sind zur Entzündung des Aethers, des Gemenges von chlorsaurem Kalium und Schwefelantimon und zum Durchbohren des Papiers zu brauchen.

Es giebt noch viel größere Inductionsapparate, welche Funken von 6 bis 60^{cm} Länge liefern; mit solch großen Funken kann man Glasstücke von mehreren Centimetern Dicke durchbohren, Papier und Holz anzünden u. dergl.

Sehr bequem sind Inductionsapparate und zwar auch die kleinen von

der oben besprochenen Art, um die schönen Erscheinungen des elektris Lichtes im luftverdünnten Raume der Geißler'schen Röhren (vergl. S. [illegible]) zu zeigen. Man verbindet die aus den Glasröhren herausragenden Enden der Platindrähte durch dünne Drähte mit den Klemmschrauben k_1 und k_2; die Geißler'schen Röhren zeigen dann ein scheinbar andauerndes Leuchten so lange, als der Inductionsapparat in Thätigkeit ist. In Wirklichkeit ist das Leuchten nicht ein ununterbrochenes, sondern ein schnell hintereinander wiederkehrendes Aufblitzen bei jedem einzelnen Inductionsstrome; der Lichteindruck im Auge des Beobachters bleibt aber bis zum nächsten Aufblitzen, so daß man ein ununterbrochenes Leuchten zu sehen glaubt. Will man sich davon überzeugen, daß man es mit einem schnell wiederholten Aufleuchten der Röhre zu thun hat, so stelle man diese in senkrechter Lage auf und beobachte ihr Spiegelbild in dem sich drehenden Spiegelkasten (Fig. 235), wie man ihn zur Untersuchung der Flamme des akustischen Flammenzeigers und der chemischen Harmonika benutzt; man sieht dann ebensogut einzelne, nebeneinanderliegende Bilder der Geißler'schen Röhre, wie man dort einzelne Flammenbilder sah.

Geißler'sche Röhren, welche verschiedene Gase im Zustande großer Verdünnung enthalten und deren mitterer Theil gerade und sehr eng ist, benutzt man, um die Spectren der glühenden Gase zu beobachten. Man bringt sie in senkrechter Stellung vor den Spalt des Spectralapparates oder verfährt auch wol, wie bei den Versuchen mit der gefärbten Wasserstoffflamme (S. 309), d. h. man stellt die Röhre etwa 1^m von dem frei auf einer Unterlage stehenden Prisma auf und blickt durch dieses nach ihr. Die weiteren, schwach leuchtenden Enden der Röhre geben dabei ein undeutliches Spectrum, der enge, mittlere Theil aber, der eine helle Lichtlinie bildet, giebt ein scharfes, aus einzelnen Linien (Bildern der Röhre) bestehendes Spectrum. Bei Anwendung einer mit verdünntem Wasserstoff gefüllten Röhre bekommt man drei Linien, eine rothe, eine grüne und eine blaue; andere Gase geben meist viel zusammengesetztere Spectren.

Wärmelehre.

54. Ausdehnung durch die Wärme, Thermometer. Ein Gegenstand, welcher mit der Oberfläche unseres Körpers in Berührung ist, verursacht uns, wie schon in §. 32 erwähnt, Empfindungen von zweierlei Art. Außer dem Druck, den derselbe auf unseren Körper ausübt, ruft er noch eine Empfindug hervor, je nach deren Eigenthümlichkeit wir den Gegenstand als kalt, warm, heiß oder dergl. bezeichnen. Die je nach den Umständen wechselnde Beschaffenheit eines Körpers, nach deren Verschiedenheit wir ihn als kalt oder warm unterscheiden, nennen wir seine Temperatur; wir sagen „die Temperatur des Körpers ist hoch", wenn er uns warm, „sie ist niedrig", wenn er uns kalt erscheint.

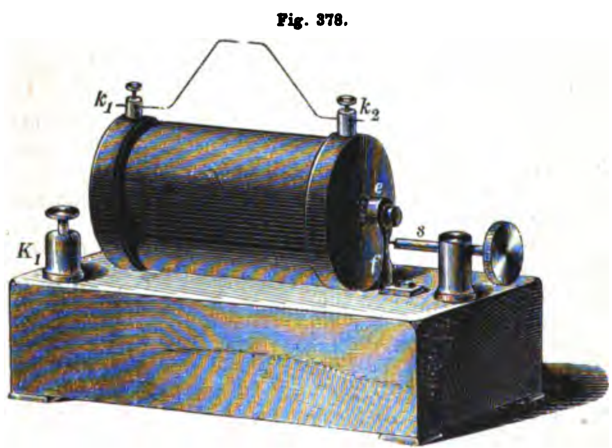
Mit dem Namen Wärme bezeichnen wir nicht nur eine bestimmte Art der erwähnten Empfindungen, wir belegen mit diesem Namen auch die gemeinschaftliche Ursache aller dieser Empfindungen und vieler anderer, damit im Zusammenhange stehender Erscheinungen. Was die Wärme eigentlich ist, darüber haben sich in neuerer Zeit die Naturforscher eine ziemlich bestimmte Ansicht gebildet, deren genauere Betrachtung jedoch außerhalb der Grenzen dieses Buches liegt. Hier sehen wir davon ganz ab und beschäftigen uns nur mit den Wirkungen der Wärme; erwähnen müssen wir aber, daß man die Kälte nicht als etwas Besonderes, der Wärme geradezu entgegengesetztes ansieht, sondern nur als einen geringen Grad von Wärme; man kann sich danach die Wärme eines Körpers mehr und immer mehr zunehmend denken, aber nur bis zu einem gewissen Grade abnehmend; ein Körper, welcher gar keine Wärme mehr enthielte, wäre der kälteste, denkbare Körper, weniger als gar keine Wärme kann ein Körper nicht enthalten. Die Temparatur eines solchen Körpers würde aber noch viel niedriger sein, als die niedrigste bis jetzt wirklich beobachtete Temparatur.

Außer der Einwirkung auf unser Gefühl bringt die Wärme noch eine große Zahl anderer Wirkungen hervor, unter denen zunächst die Ausdehnung der Körper zu bemerken ist, weil sie zumeist benutzt wird, um die Wärme zu messen.

Ein Messingbügel a b c d, Fig. 379, ist so gearbeitet, daß der gerade Stab e f gerade zwischen die Enden a und d paßt und darin mäßig festgeklemmt wird. Man faßt den Bügel zwischen c und d mit der Flachzange oder Tiegelzange und hält ihn so in den Rand der Flamme einer Weingeistlampe oder eines Bunsen'schen Gasbrenners, daß b c möglichst stark, das Stück e f aber möglichst wenig warm wird: sobald b c heiß genug ist, fällt der ursprünglich festgeklemmte Stab e f aus dem Bügel heraus; der Bügel

bau liegt eine cylindrische Rolle, deren Enden durch runde Platten von schwarz polirtem Holz oder Horngummi gebildet sind. Diese Rolle enthält zu innerst ein Bündel Eisendrähte[84]; dieses ist umwunden von mehreren Lagen mäßig dicken, umsponnenen Kupferdrahtes, welche die primäre Spirale bilden und darüber sind noch sehr viele Windungen ganz feinen übersponnenen Drahts gewickelt, welche als Inductionsspirale dienen. Zu äußerst liegt eine Umhüllung von Glanzleinwand, welche zum Schutze des feinen Drahtes der Inductionsspirale dient. Die Enden dieses Drahtes führen nach den Klemmschrauben k_1 und k_2. In den links angebrachten, größeren Klemmschrauben, von denen in der Figur nur eine K_1 sichtbar ist, befestigt man die von der galvanischen Kette kommenden Leitungsdrähte. Die Klemmschraube K_1 ist in unmittelbarer Verbindung mit einem Ende des die primäre Spirale bildenden Drahtes, das andere Ende dieses Drahtes ist leitend verbunden mit der kleinen Feder f, welche ein dem Ende des Eisendrahtbündels gegenüberstehendes Eisenstückchen e trägt. An ein kleines, auf f aufgelöthetes Platinplättchen stößt die platinene Spitze der Schraube s. Das Säulchen, welches diese Schraube trägt, ist mit der (durch die Rolle verdeckten) Klemmschraube K_2 verbunden. Die Drähte, welche die verschiedenen Theile unter einander verbinden, sind im hölzernen Fuße des Apparates versteckt.

Fig. 378.



a. P. 1/2 nat. Gr.

Verbindet man K_1 und K_2 mit den Polen einer galvanischen Kette von genügender Stärke, so wird das Eisendrahtbündel magnetisch, zieht das Eisenstückchen e an und hebt dadurch die Berührung zwischen dem Platinplättchen und der Platinspitze auf, unterbricht also den Strom und verliert seinen Magnetismus wieder. Die Feder geht zurück, schließt den Strom wieder, das Eisendrahtbündel wird abermals magnetisch und so wiederholt sich derselbe Vorgang sehr schnell hintereinander, so lange K_1 und K_2 mit den Polen der Batterie in Verbindung sind. Die schnelle Hin- und Herbewegung von e und f bringt ein summendes Geräusch hervor; ist der Strom der Batterie kräftig genug, so sind an der Unterbrechungsstelle kleine Fünkchen zu sehen. Bei jeder Schließung und bei jeder Unterbrechung des primären Stromes entsteht in der secundären Spirale ein Inductionsstrom; diese sehr

[84] Es kann hier nicht erläutert werden, warum ein Bündel dünner Eisenstäbchen besser wirkt, als ein dicker, massiver Eisenstab; ebenso muß die Erläuterung der Wirkungsweise einer im hohlen Fußgestell versteckten, zur Erhöhung der Wirksamkeit des Apparates wesentlich beitragenden Vorrichtung unterbleiben.

schnell aufeinanderfolgenden Inductionsströme haben immer abwechselnd entgegengesetzte Richtung.

Die Inductionsströme sind von sehr kurzer Dauer, aber von beträchtlicher Spannung, sie vermögen Körper, welche nicht sehr gut leiten, viel besser zu durchlaufen, als der durch eine galvanische Kette unmittelbar erzeugte Strom. Auf den menschlichen Körper äußern sie eine sehr fühlbare Wirkung. Man befestigt in den Klemmschrauben k_1 und k_2 zwei Kupferdrähte, welche nach metallnen Handgriffen führen; nimmt man diese Handgriffe in beide Hände, so fühlt man eine andauernde Erschütterung, die Folge der immer von neuem auftretenden Inductionsströme.

Ein Meidinger'sches Element reicht allenfalls hin, um den Inductionsapparat Fig. 378 in Thätigkeit zu setzen und fühlbare Ströme zu geben; nur muß man die Schraube s sehr genau so stellen, daß die Platinspitze das Plättchen der Feder sehr leise berührt und muß die Stellen der Hände, mit denen man die Handgriffe berührt, etwas naß machen, um die Leitungsfähigkeit der Haut zu verbessern.

Eine auch mit trockenen Händen sehr fühlbare Wirkung erhält man, wenn man den Inductionsapparat durch ein Grove'sches oder Bunsen'sches Element in Thätigkeit versetzt. Wer für die Einwirkung der Electricität empfindlich ist, fülle ein solches Element nur etwa zum vierten Theile mit Säure, sonst wird die Empfindung, welche die Inductionsströme hervorrufen, unangenehm stark. Starke Inductionsströme bringen eine krampfhafte Zusammenziehung der Muskeln hervor, so daß es eine starke Willensanstrengung kostet, die Hände zu öffnen und die metallenen Handgriffe fallen zu lassen.

Die Handgriffe macht man aus zwei viereckigen Stückchen Zink- oder Messingblech von 10 bis 12^{cm} Länge und 7 bis 8^{cm} Breite, die man der Breite nach so zusammenrollt (durch Klopfen mit dem Holzhammer auf einem runde Holze), daß sie eine 2 bis $2^{cm},5$ weite Röhre bilden; die Zusammenfügungsstelle der Blechränder braucht nicht verlöthet zu werden. Zwei etwa $0^{mm},6$ dicke, 0,5 bis 1^{m} lange, übersponnene Kupferdrähte befreit man an jedem Ende auf eine Länge von einigen Centimetern von der Umspinnung und löthet je ein Ende an der Innenfläche einer Blechröhre und das andere an ein 2^{cm} langes, 1^{mm} dickes Stück Kupferdraht an, das zum Einstecken in die Höhlung der Klemmschrauben k_1 und k_2 dient.

Benutzt man als primären Strom den Strom von ein oder zwei kräftig wirkenden Grove'schen oder Bunsen'schen Elementen, so werden die Inductionsströme so stark, daß sie sogar durch die nicht leitende Luft hindurchgehen können.

Zwei 1^{mm} dicke Drähte von Kupfer, Messing oder Eisen werden so gebogen und in die Klemmen k_1 und k_2 eingesetzt, wie Fig. 378 zeigt; wenn der Abstand zwischen den einander zugewendeten Theilen der Drähte nicht mehr als 1 bis 2^{mm} beträgt, so gehen die Inductionsströme zwischen ihnen in Form von Fünkchen über. Ein Inductionsapparat, der etwa doppelt so groß ist, als der in Fig. 378 angenommene, giebt sogar Funken von 6 bis 10^{mm} Länge. Mit den Funken eines Inductionsapparates kann man ganz dieselben Wirkungen hervorbringen, wie mit den Funken von Reibungselektricität. Schon die kleinen Fünkchen des Apparates Fig. 378 reichen hin, um Gas zu entzünden, die eines doppelt so großen sind zur Entzündung des Aethers, des Gemenges von chlorsaurem Kalium und Schwefelantimon und zum Durchbohren des Papiers zu brauchen.

Es giebt noch viel größere Inductionsapparate, welche Funken von 6 bis 60^{cm} Länge liefern; mit solch großen Funken kann man Glasstücke von mehreren Centimetern Dicke durchbohren, Papier und Holz anzünden u. dergl.

Sehr bequem sind Inductionsapparate und zwar auch die kleinen von

der oben besprochenen Art, um die schönen Erscheinungen des elektrischen Lichtes im luftverdünnten Raume der Geißler'schen Röhren (vergl. S. 400) zu zeigen. Man verbindet die aus den Glasröhren herausragenden Enden der Platindrähte durch dünne Drähte mit den Klemmschrauben k_1 und k_2; die Geißler'schen Röhren zeigen dann ein scheinbar andauerndes Leuchten so lange, als der Inductionsapparat in Thätigkeit ist. In Wirklichkeit ist das Leuchten nicht ein ununterbrochenes, sondern ein schnell hintereinander wiederkehrendes Aufblitzen bei jedem einzelnen Inductionsstrome; der Lichteindruck im Auge des Beobachters bleibt aber bis zum nächsten Aufblitzen, so daß man ein ununterbrochenes Leuchten zu sehen glaubt. Will man sich davon überzeugen, daß man es mit einem schnell wiederholten Aufleuchten der Röhre zu thun hat, so stelle man diese in senkrechter Lage auf und beobachte ihr Spiegelbild in dem sich drehenden Spiegelkasten (Fig. 235), wie man ihn zur Untersuchung der Flamme des akustischen Flammenzeigers und der chemischen Harmonika benutzt; man sieht dann ebensogut einzelne, nebeneinanderliegende Bilder der Geißler'schen Röhre, wie man dort einzelne Flammenbilder sah.

Geißler'sche Röhren, welche verschiedene Gase im Zustande großer Verdünnung enthalten und deren mitterer Theil gerade und sehr eng ist, benutzt man, um die Spectren der glühenden Gase zu beobachten. Man bringt sie in senkrechter Stellung vor den Spalt des Spectralapparates oder verfährt auch wol, wie bei den Versuchen mit der gefärbten Wasserstoffflamme (S. 309), d. h. man stellt die Röhre etwa 1^m von dem frei auf einer Unterlage stehenden Prisma auf und blickt durch dieses nach ihr. Die weiteren, schwach leuchtenden Enden der Röhre geben dabei ein undeutliches Spectrum, der enge, mittlere Theil aber, der eine helle Lichtlinie bildet, giebt ein scharfes, aus einzelnen Linien (Bildern der Röhre) bestehendes Spectrum. Bei Anwendung einer mit verdünntem Wasserstoff gefüllten Röhre bekommt man drei Linien, eine rothe, eine grüne und eine blaue; andere Gase geben meist viel zusammengesetztere Spectren.

Wärmelehre.

54. Ausdehnung durch die Wärme, Thermometer. Ein Gegenstand, welcher mit der Oberfläche unseres Körpers in Berührung ist, verursacht uns, wie schon in §. 32 erwähnt, Empfindungen von zweierlei Art. Außer dem Druck, den derselbe auf unseren Körper ausübt, ruft er noch eine Empfindug hervor, je nach deren Eigenthümlichkeit wir den Gegenstand als kalt, warm, heiß oder dergl. bezeichnen. Die je nach den Umständen wechselnde Beschaffenheit eines Körpers, nach deren Verschiedenheit wir ihn als kalt oder warm unterscheiden, nennen wir seine Temperatur; wir sagen „die Temperatur des Körpers ist hoch", wenn er uns warm, „sie ist niedrig", wenn er uns kalt erscheint.

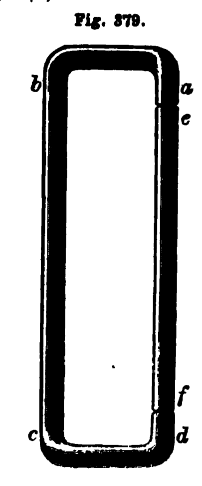
Mit dem Namen Wärme bezeichnen wir nicht nur eine bestimmte Art der erwähnten Empfindungen, wir belegen mit diesem Namen auch die gemeinschaftliche Ursache aller dieser Empfindungen und vieler anderer, damit im Zusammenhange stehender Erscheinungen. Was die Wärme eigentlich ist, darüber haben sich in neuerer Zeit die Naturforscher eine ziemlich bestimmte Ansicht gebildet, deren genauere Betrachtung jedoch außerhalb der Grenzen dieses Buches liegt. Hier sehen wir davon ganz ab und beschäftigen uns nur mit den Wirkungen der Wärme; erwähnen müssen wir aber, daß man die Kälte nicht als etwas Besonderes, der Wärme geradezu entgegengesetztes ansieht, sondern nur als einen geringen Grad von Wärme; man kann sich danach die Wärme eines Körpers mehr und immer mehr zunehmend denken, aber nur bis zu einem gewissen Grade abnehmend; ein Körper, welcher gar keine Wärme mehr enthielte, wäre der kälteste, denkbare Körper, weniger als gar keine Wärme kann ein Körper nicht enthalten. Die Temparatur eines solchen Körpers würde aber noch viel niedriger sein, als die niedrigste bis jetzt wirklich beobachtete Temparatur.

Außer der Einwirkung auf unser Gefühl bringt die Wärme noch eine große Zahl anderer Wirkungen hervor, unter denen zunächst die Ausdehnung der Körper zu bemerken ist, weil sie zumeist benutzt wird, um die Wärme zu messen.

Ein Messingbügel a b c d, Fig. 379, ist so gearbeitet, daß der gerade Stab e f gerade zwischen die Enden a und d paßt und darin mäßig festgeklemmt wird. Man faßt den Bügel zwischen c und d mit der Flachzange oder Tiegelzange und hält ihn so in den Rand der Flamme einer Weingeistlampe oder eines Bunsen'schen Gasbrenners, daß b c möglichst stark, das Stück e f aber möglichst wenig warm wird: sobald b c heiß genug ist, fällt der ursprünglich festgeklemmte Stab e f aus dem Bügel heraus; der Bügel

muß also im heißen Zustande größer sein, als im kalten. Hält man e f an seine Stelle zwischen a und d, indem man es auf d aufstemmt, so zeigt sich zwischen a und c nur ein äußerst kleiner Zwischenraum; die Ausdehnung des Messings durch die Wärme ist also eine sehr geringe. Kühlt man den Bügel a b c d durch Eintauchen in Wasser wieder ab, so umspannt er das Stück e f wieder eben so fest, wie zuvor; er zieht sich also beim Abkühlen wieder zusammen.

Fig. 379.



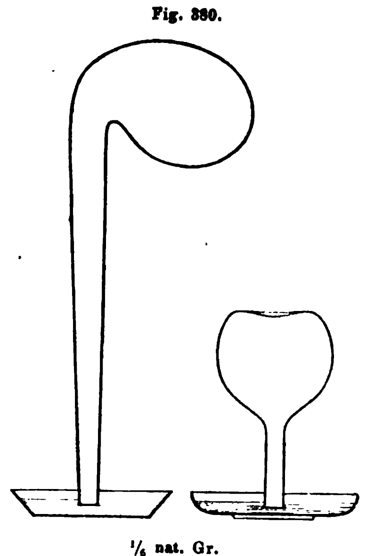
1/2 nat. Gr.

Aehnlich wie das Messing verhalten sich alle starren Körper; sie dehnen sich alle beim Erwärmen aus und ziehen sich beim Abkühlen wieder zusammen, einzelne etwas stärker, viele aber noch weniger, als das Messing.

Ein Probirglas von 15 bis 18^{cm} Länge füllt man bis auf etwa 3^{cm} vom Rande mit gewöhnlichem Petroleum und erwärmt es; man sieht dabei wie die Flüssigkeit sich ausdehnt, sie steigt um 1 bis 2^{cm} in die Höhe. Beim Abkühlen zieht sich auch das Petroleum, eben so wie das Messing, wieder zusammen. Die meisten anderen Flüssigkeiten dehnen sich beim Erwärmen zwar nicht so stark aus, wie das Petroleum, bei allen aber ist die Ausdehnung stärker, als bei den starren Körpern.

Eine Retorte oder ein Kölbchen spannt man so in einen Retortenhalter, daß der Hals abwärts gerichtet ist und taucht diesen einige Millimeter tief in ein Schälchen mit Wasser (Fig. 380); erwärmt man den bauchigen Theil des Glasgefäßes durch Berühren mit der Hand, so ist schon eine Ausdehnung der Luft zu bemerken, bringt man eine Weingeist- oder Gasflamme an das Glas, so dehnt sich die Luft so stark aus, daß eine Menge Blasen durch das Wasser austreten; beim Wiederabkühlen zieht sich die Luft zusammen und es steigt dafür, durch den äußeren Luftdruck getrieben, das Wasser in dem Halse des Glasgefäßes um ein Stück in die Höhe. Recht schön kann man die Ausdehnung und Zusammenziehung der Luft auch beobachten, wenn man die Vorrichtung Fig. 168 wagrecht in den Arm des Retortenhalters einklemmt und den mit Luft gefüllten Theil des Glasrohres durch Unterhalten der Lampenflamme erwärmt; das Quecksilber im Rohre wird von der sich ausdehnenden Luft vorwärts geschoben und zieht sich beim Erkalten derselben wieder zurück.

Fig. 380.



1/6 nat. Gr.

Den Messingbügel Fig. 379 biegt man aus 6^{mm} starkem Messingdraht, den man durch Ausglühen in Kohlenfeuer weich gemacht hat, indem man den Draht mit

dem Hammer im Schraubstock oder auf dem Sperrhorn umklopft; die kurzen Stücke a und d muß man zuerst, die beiden in der Figur wagrecht liegenden Stücke nachher umbiegen. Die Enden des Bügels und des geraden Stäbchens feilt man schön glatt und gleichmäßig schwach gewölbt.

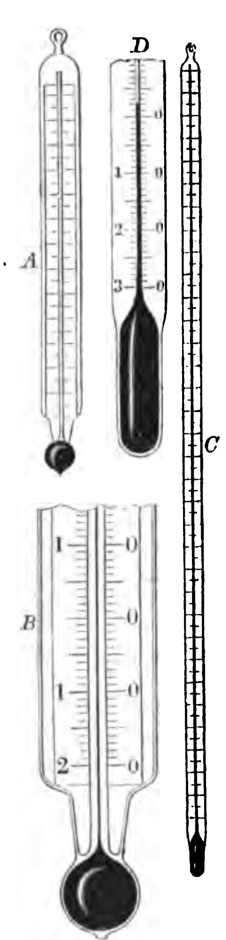
Das Erwärmen des Glases mit Petroleum muß sehr vorsichtig geschehen, damit nicht das Glas springt und das Petroleum sich entzündet. Will man ganz sicher gehen, so erwärmt man das Glas nicht über der Lampe, sondern durch Eintauchen in einen Topf mit heißem Wasser. Noch deutlicher als in einem Probirglase kann man die Ausdehnung bemerken, wenn man ein Kochfläschchen mit engem Halse bis eben an den Hals mit Flüssigkeit füllt und dann erwärmt; da man aber ein solches Kochfläschchen nach dem Entleeren nicht mit Fließpapier oder einem Läppchen auswischen kann und sich ohne dies die letzten Reste von Petroleum nicht gut entfernen lassen, so wendet man dann besser Weingeist zu dem Versuche an, der ebenfalls vorsichtig und nicht zu stark zu erwärmen ist. Wasser dehnt sich viel weniger stark aus, als Weingeist oder Petroleum; will man den Versuch mit Wasser anstellen, so muß man in den Hals eines Kochfläschchens von 6 bis 8^{cm} Durchmesser einen gutschließenden Kork setzen, der in einer Durchbohrung eine 3^{mm} weite Glasröhre von 20 bis 30^{cm} Länge trägt. Da Brunnenwasser beim Erwärmen stets Luftblasen abscheidet, so muß man zum Füllen des Glases abgekochtes und wieder kalt gewordenes Wasser anwenden; man gießt das Kochfläschchen bis an den Rand des Halses voll, damit beim Einsetzen des Korks keine Luftblase zurückbleibt; das Erwärmen geschieht auch hier am besten durch Eintauchen in warmes Wasser. Sollte das Wasser in der Röhre zu hoch steigen, so kann man leicht mittelst eines in die Röhre geschobenen Strohhalmes soviel heraussaugen, daß es nur noch einige Centimeter über den Kork steht. Beim Beginn des Erwärmens beobachtet man gewöhnlich, daß das Wasser in der Röhre etwas sinkt; dies hat seinen Grund nicht etwa darin, daß das Wasser sich zusammenzieht, sondern darin, daß im ersten Augenblick nur die Glaswandung des Gefäßes erwärmt wird, also das Gefäß sich vergrößert, während das Wasser noch sein ursprüngliches Volumen besitzt — sobald die Wärme in's Innere des Gefäßes dringt und das Wasser erwärmt, beginnt dieses in der Röhre zu steigen.

Bei dem Versuche über die Luftausdehnung mit dem Kochfläschchen oder der Retorte hat man nur zu beachten, daß man den Hals des Gefäßes nicht mit erwärmen darf, weil er sonst bei der Abkühlung durch das aufsteigende Wasser zerspringen kann und daß man die Flamme nicht ruhig an oder unter das Glasgefäß hält, sondern sie fortwährend hin und her bewegt, um eine gleichmäßige und langsame Erwärmung zu bewirken.

Die Vorrichtungen zum Messen der Wärme, die **Thermometer** beruhen auf der Ausdehnung der Flüssigkeiten durch die Wärme. Starre Körper lassen sich nicht gut zur Herstellung von Thermometern benutzen, weil sie sich zu wenig ausdehnen, um ihre Größenveränderung deutlich sehen zu lassen; gasige Körper deshalb nicht, weil ihr Volumen nicht nur von der Temperatur abhängt, sondern auch vom Luftdruck, der sich, wie wir wissen, ja auch verändert. Weitaus die meisten Thermometer sind Quecksilberthermometer. Das Quecksilber vereinigt mehrere Vortheile, welche den meisten anderen Flüssigkeiten abgehen. Es nimmt die Wärme leicht an und giebt sie leicht wieder ab, so daß es den stattfindenden Veränderungen der Temperatur schnell folgt; seine Ausdehnung ist ziemlich genau der Erwärmung proportional (d. h. bei einer Erwärmung, welche zwei, drei mal so stark ist, als eine andere, dehnt es sich zwei, drei mal so stark aus); es ist wegen seiner Undurchsichtigkeit selbst in sehr engen Röhren ziemlich gut zu erkennen; es benetzt das Glas nicht, so daß beim Sinken in einer Glasröhre nichts an den Röhrenwänden hängen bleibt; endlich verträgt es bedeutende Temparaturveränderungen, ohne seinen Aggregatzustand zu ändern; es siedet erst bei größerer Wärme, als die ist, bei welcher Blei schmilzt und gefriert nicht in der strengsten, in

Mitteleuropa vorkommenden Winterkälte. In sehr großer Kälte, wie sie in höheren geographischen Breiten vorkommt und wie man sie künstlich erzeugen kann, gefriert es freilich; für die Messung dieser niedrigsten Temparatur muß man Thermometer mit Weingeist benutzen, der bei keiner bis jetzt bekannten Kälte gefriert.

Fig. 381.



A, C $^1/_3$ nat. Gr., B, D nat. Gr.

Ein Thermometer besteht aus einem kleinen, dünnwandigen, kugelförmigen oder cylindrischen Glasgefäße, an welchem eine sehr enge, dickwandigere, oben zugeschmolzene Glasröhre sitzt, die möglichst genau an allen Stellen gleich weit sein soll. Das Gefäß und ein Theil des Rohres ist mit Flüssigkeit gefüllt, der Raum über der Flüssigkeit ist luftleer. Bei den Thermometern, die nur bestimmt sind, die Lufttemperatur zu messen, ist die Röhre mit dem Gefäße gewöhnlich befestigt auf einer Platte von Holz, Glas oder Metall, welche die Maßtheilung (Scala) trägt; bei Thermometern, welche zum Eintauchen in Flüssigkeiten bestimmt sind, ist entweder das Rohr umgeben von einem weiten, unten am Gefäße angeschmolzenen Rohre, in dem sich ein Streifen Milchglas oder Papier mit der Scala befindet, Fig. 381 A, B, oder das Rohr ist so dickwandig, daß es äußerlich dicker ist, als das Gefäß und die Scala ist unmittelbar auf das Rohr aufgeätzt, Fig. 381 C, D. Thermometer der letzten Art benutzt man vielfach bei physikalischen Versuchen, weil man sie ihrer Dünne wegen leicht durch enge Oeffnungen in Gefäße einschieben oder auch mittelst durchbohrter Korke luftdicht einsetzen kann; für unsere Versuche sind ein oder zwei derartige Instrumente am zweckmäßigsten.

An jedem Thermometer muß zunächst der Gefrierpunkt und der Siedepunkt des Wassers bestimmt werden; der Abstand dieser zwei Punkte wird in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile (Grade) getheilt. In Deutschland sind zwei verschiedene Eintheilungsweisen gebräuchlich, die Réaumur'sche und die Centesimalscala; die letztere häufig auch fälschlich Celsius'sche Scala genannt. Die Grade der Centesimalscala nennt man, anstatt Centesimalgrade kürzer Centigrade. Die Réaumur'sche Scala theilt den Abstand zwischen dem Gefrierpunkt und Siedepunkt in 80 Grade, die Centesimalscala in 100. Den Gefrierpunkt bezeichnen beide mit 0°; den Siedepunkt also die Réaumur'sche mit 80°, die Centesimalscala mit 100°. Oberhalb des Siedepunktes und unterhalb des Gefrierpunktes sind Grade von gleicher Größe, wie zwischen beiden Punkten aufgetragen; die über 80° oder 100° liegenden Grade werden in fortlaufender Reihe weiter gezählt, vom Gefrierpunkt abwärts zählt man wieder von 0 an; zum Unterschied von den über 0° liegenden

Graden bezeichnet man die unterhalb liegenden durch Vorsetzen des Zeichens — (sprich minus), nennt sie auch wol *Kältegrade*.

Die Scala, auf welche sich eine Temperaturangabe bezieht, bezeichnet man durch ein beigesetztes R oder C. Die im gewöhnlichen Leben am häufigsten vorkommende Messung der Wärme der Luft und des Badewassers wird meistentheils auf die Réaumur'sche Scala bezogen; zu wissenschaftlichen Zwecken dient ausschließlich die Centesimalscala, auch im Folgenden soll immer nur diese gebraucht werden.[85]

Da 80° R. gleich 100° C., also 4° R. = 5° C., 1° R. = $^5/_4$° C. und 1° C. = $^4/_5$° R. sind, so muß man die Réaumur'schen Gradzahlen mit $^5/_4$ multipliciren, um sie in die entsprechenden centesimalen zu verwandeln die Centigradzahlen mit $^4/_5$, um sie in Réaumur'sche zu verwandeln; z. B. 28° R. = 28 . $^5/_4$ = 35° C., —30° C. = —30 . $^4/_5$ = —24° R.

Die Bestimmung der beiden festen Punkte des Thermometers muß mit gewissen Vorsichtsmaßregeln ausgeführt werden, wenn sie richtig werden soll; an einem fertig gekauften Thermometer wird man jedenfalls die Bestimmung nochmals vornehmen, um sich von der Richtigkeit der Scala zu überzeugen. Behufs der Ermittelung des Gefrierpunktes bringt man das Thermometer in ein Gefäß, das man mit Schnee oder klein geschlagenen Eisstückchen gefüllt hat, bis fast an den mit 0° bezeichneten Punkt der Scala hinein, rührt mit einen Holzspahn oder dergl. die Eismasse um, (vorsichtig, um dabei das Thermometer nicht zu zerbrechen) und beobachtet, bei welcher Stelle der Scala die Kuppe des Quecksilberfadens schließlich unverrückt stehen bleibt.

Hat man das Eis zu dem Versuche im Sommer aus einem Eiskeller oder im Winter bei sehr geringer Kälte aus dem Freien entnommen, so beobachtet man, daß das Quecksilber des Thermometers anfangs schnell, dann allmählich immer langsamer fällt und schließlich auf einer Stelle stehen bleibt, bis ein großer Theil des Eises geschmolzen ist; rührt man lebhaft um, so steht der Quecksilberfaden unverrückt, solange nur noch ein kleiner Rest von Eis übrig ist. Hat man dagegen bei strenger Winterkälte Eis oder Schnee frisch aus dem Freien geholt, so sinkt das Quecksilber im Thermometer zunächst bis auf die unter dem Gefrierpunkt liegende Temperatur der Eismasse, dann steigt es langsam wieder in dem Maße, wie sich diese durch die Zimmerluft erwärmt und nimmt schließlich die unveränderliche Stellung ein, sobald das Eis zu schmelzen beginnt. Man bestimmt also eigentlich nicht den Gefrierpunkt des Wassers, sondern den Schmelzpunkt des Eises; wir werden später noch ausführlicher zu betrachten haben, daß beide Temperaturen vollständig gleich sind.

---

[85] Die sehr unzweckmäßige, aber in England und den meisten außereuropäischen Ländern bis jetzt fast ausschließlich gebrauchte *Fahrenheit'sche* Scala bezeichnet den Siedepunkt mit 212°, den Gefrierpunkt mit 32° und mit 0° die Temperatur von —17°,77 C. oder —14°,22 R. Um eine Temperaturangabe nach der Fahrenheit'schen Scala in Réaumur'sche oder Centesimalgrade umzurechnen, nehme man eine 32° niedrigere Temperatur an und multiplicire mit $^4/_9$ oder $^5/_9$; für 149° F. hat man 117 · $^4/_9$ = 52° R. oder 117 · $^5/_9$ = 65° C., für —4° F. hat man —36 · $^4/_9$ = —16° R. oder —36 · $^5/_9$ = —20° C. Réaumur- oder Centigrade multiplicirt man, um sie in Fahrenheit'sche zu verwandeln, mit $^9/_4$ oder $^9/_5$ und nimmt dann die Temperatur 32° höher; für 12° R. hat man 12 · $^9/_4$ = 27°, um 32° höher : 59° F.; für —25° C. hat man —25° · $^9/_5$ = —49°, um 32° höher: —17° F.; für —5° C. endlich —5 · $^9/_5$ = —9°, um 32° höher: 23° F.

Ist die Scala des Thermometers richtig, so muß das Quecksilber im schmelzenden Eise genau bei 0° stehen bleiben; ist dies nicht der Fall, so muß man sich die Abweichung notiren, um sie bei der Anwendung des Thermometers zu berücksichtigen.

Zur Bestimmung des Siedepunktes wendet man einen Kolben (Kochflasche) mit langem Halse an, dessen Bauch man etwas über halb voll Wasser macht, Fig. 382. Das Thermometer hängt man mittelst eines quer über die Mündung des Halses gelegten Stäbchens im Gefäße auf oder klemmt es, wenn es wesentlich länger ist, als der Hals, in einem Retortenhalter fest. Das Gefäß des Thermometers soll nicht in das Wasser selbst eintauchen; unter gewissen Umständen kann die Temperatur des siedenden Wassers etwas schwanken, während die Temperatur des daraus entwickelten Dampfes unveränderlich ist, wenn der Dampf sich lebhaft genug entwickelt und nicht nach seiner Entwickelung noch durch die Berührung mit den heißen Gefäßwänden weiter erhitzt wird. Um Letzteres zu vermeiden, stellt man den Kolben auf ein mit einem runden Ausschnitt versehenes Blech, welches die von der Flamme erhitzte Luft zwingt, sich auszubreiten und sie verhindert, dicht an den Wänden des Kolbens aufzusteigen; da das Blech bei großer Flamme leicht selbst sehr heiß wird, so ist es rathsam, es nach dem Aufsetzen des Kolbens noch mit einer 1 bis 2 cm hohen Schicht von trockenem Sande bis fast an den Rand zu verdecken. Die Mündung des Kolbens bedeckt man lose mit Baumwolle (gezupfter Watte), um zu verhindern, daß von außen kalte Luft in den Hals eindringt und den Dampf abkühlt. Solange das Innere des Kolbenhalses noch trübe erscheint, hat derselbe noch nicht die richtige Temperatur; das Trübe ist noch nicht eigentlicher Dampf, sondern Nebel; der eigentliche Dampf ist eben so durchsichtig und unsichtbar, wie die Luft; erst beim Ausströmen in die Luft darf der Dampf sich in sichtbaren Nebel verwandeln.

Fig. 382.

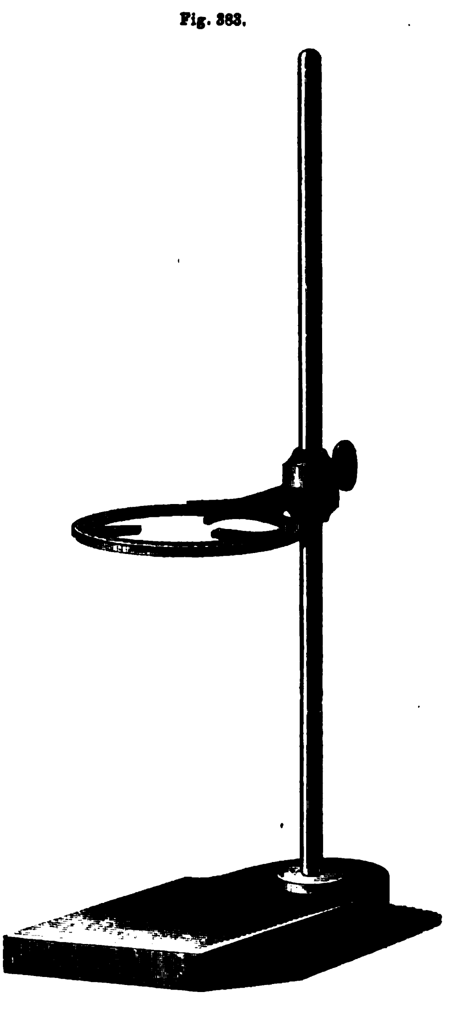


a. P. 1/4 nat. Gr.

Der Siedepunkt des Wassers und mit ihm die Temperatur des entwickelten Dampfes ist eigentlich nicht so bestimmt, wie der Gefrierpunkt; der Siedepunkt hängt vom Luftdruck ab; je kleiner dieser ist, um so leichter, je größer er ist, um so schwerer siedet das Wasser. Mit 100° C. soll am Thermometer die Temperatur bezeichnet sein, bei welcher das Wasser siedet, wenn der Luftdruck gleich dem Druck einer 760 mm hohen Quecksilbersäule ist; diese Temperatur heißt der normale Siedepunkt. An Orten, welche

einige Hundert Meter über dem Meeresspiegel liegen, erreicht der Luftdruck nie diese Größe und auch an weniger hoch gelegenen Orten wird es sich nur selten treffen, daß er zur Zeit einer Siedepunktbestimmung gerade die richtige Größe hat; man muß deshalb wissen, wieviel sich bei abweichendem Luftdruck der Siedepunkt ändert. Solange der Barometerstand nicht größer, als 780^{mm} und nicht kleiner als 700^{mm} wird, kann man für jedes Millimeter eine Aenderung des Siedepunktes um 0°, 0375 rechnen; ist z. B. der Barometerstand 740^{mm}, also 20^{mm} unter dem normalen Stande, so ist der Siedepunkt 20. 0,0375 = 0°,75 unter 100°, also 99°,25.

Fig. 383.



a. P. 1/4 nat. Gr.

Um zu sehen, ob der Siedepunkt der Thermometerscala richtig ist, wird man also während der Siedepunktsbestimmung das Barometer ablesen, berechnen, bei welcher Temperatur das Wasser bei diesem Druck siedet und dann sehen, ob die Quecksilberkuppe im Dampfe genau bei der berechneten Temperatur stehen bleibt, findet sich ein Fehler, so hat man auch diesen zu notiren.

Für die Bestimmung des Gefrierpunktes ist Schnee am besten und am bequemsten; kann man nur Eis in festen Stücken haben, so zerkleinert man es durch Schaben mit einem starken Messer, was man so bewegt, als wollte man ganz dünne Scheiben von dem Eisenstück abschneiden, oder durch Zerklopfen mit dem Hammer. Es ist zweckmäßig, das zu zerschlagende Eis auf ein Brett zu legen, es mit einem kleineren Brettchen zu bedecken und erst auf dieses zu schlagen; trotzdem springen noch viele Stücken des Eises umher. Einwickeln des Eises in ein lose umgeschlagenes, starkes Tuch beugt diesem Uebelstande ziemlich gut vor, das Tuch wird aber sehr leicht durch die eckigen Eisstücke zerrissen.

Der Ausschnitt des bei der Siedepunktbestimmung gebrauchten Bleches soll so groß sein, daß der Kolben nicht ganz bis zur Hälfte einsinkt, der Rand sei mindestens 6^{cm} breit. Will man es selbst zurecht machen, so zeichnet man sich auf ein Stück Blech (am besten Schwarzblech, jedenfalls nicht Zinkblech, weil dieses beim Gebrauch schmelzen würde) den äußeren und inneren Kreis, schneidet ersteren mit der Blechscheere, schlägt letzteren mit dem Meisel aus und macht ihn durch Ausfeilen ordentlich rund, damit er gut an das

Gefäß anschließt und dasselbe nicht durch vorstehende Zacken zerdrückt. Beim Erwärmen größerer Glasgefäße ist es räthlich, unter dieselben ein Stück Drahtgewebe zu bringen, was eine gleichmäßigere Erwärmung bewirkt und so dem Zerspringen der Gläser vorbeugt; man biegt dieses Gewebe so, daß es sich dem Glase einigermaßen anschmiegt. Messing ist für solches Gewebe besser, als Eisen, weil es durch die Wärme nicht so leicht zerstört wird und biegsamer ist als letzteres; um es recht biegsam zu machen, glüht man es schwach aus. Größere Gefäße über die Lampe zu stellen ist ein Kochgestell recht zweckmäßig; die Weingeistlampe Fig. 16 ist gleich mit einem solchen Kochgestell versehen; für den Bunsen'schen Brenner benutzt man ein besonderes derartiges Gestell, wie es Fig. 383 zeigt. Muß man sich ohne ein solches behelfen, so klemmt man den Hals des Glaskolbens im Retortenhalter ein, beschwert diesen, damit er nicht umfällt, durch auf das Brett gestellte Gewichte und befestigt das durchlöcherte Blech mit Hülfe dreier an beiden Enden umgebogener Drähte, die man in drei am Rande des Blechs angebrachte kleine Löcher einerseits und anderseits in die Mündung des Kolbenhalses einhängt.

Sehr häufig kommt es vor, daß sowol der Siedepunkt, als der Gefrierpunkt etwas höher liegen, als sie auf der Scala bezeichnet sind; das Gefäß des Thermometers zieht sich nämlich einige Zeit nach der Herstellung des Thermometers noch ein wenig zusammen und treibt das Quecksilber im Rohr etwas höher; bei der Thermometerfabrication wird nun diese Zusammenziehung häufig nicht abgewartet, ehe die Scala angebracht wird. Beträgt der so entstandene Fehler nicht mehr als 0,5 bis 1° und ist er beim Gefrierpunkt und beim Siedepunkt wenigstens nahezu gleich, so schadet er nicht viel; man hat dann nur zu merken, wieviel er beträgt und bei jeder Ablesung zu berücksichtigen, daß die wirkliche Temperatur um diese Größe niedriger ist, als das Thermometer angiebt.

Die Ausdehnung der starren Körper ist nicht von beträchtlicher Größe, geht aber dafür mit großer Kraft[86] vor sich und ist vielfach practisch wichtig. In der folgenden kleinen Tabelle ist für einige Stoffe angegeben, um welchen Theil seiner Länge ein Stab sich ausdehnt, wenn man ihn um einen Grad erwärmt; man nennt die Zahlen dieser Tabelle die Längenausdehnungscoëfficienten oder linearen Ausdehnungscoëfficienten der Stoffe.[87]

Eisen	$\frac{1}{81400} = 0{,}0000123$	Platin	$\frac{1}{114000} = 0{,}0000088$
Glas	$\frac{1}{125000} = 0{,}000008$	Silber	$\frac{1}{52600} = 0{,}000019$
Kupfer	$\frac{1}{58800} = 0{,}000017$	Zink	$\frac{1}{34000} = 0{,}0000294$
Messing	$\frac{1}{52600} = 0{,}000019$		

Kennt man die Längenausdehnung eines Stoffes, so ist seine räumliche Ausdehnung (der cubische Ausdehnungscoëfficient) leicht zu berechnen. Ein Würfel von Zink, dessen Seite bei der Temperatur von 0° genau gleich 1^{cm}, dessen Volumen also 1^{cc} wäre, würde sich beim Erwärmen auf 1° nach jeder Richtung um $0^{cm},0000294$ ausdehnen und also ein Volumen von 1,0000294. 1,0000294. 1,0000294 = $1^{cc},0000882$ erlangen, sein Volumen nähme zu um $0^{cc},0000882$; die Zahl 0,0000882 ist also der cubische Aus-

[86] Die Kraft, mit der sich ein Körper beim Erwärmen ausdehnt, ist gerade so groß, wie die Kraft, welche man brauchen würde, um ihn bei gleichbleibender Temperatur um ein gleiches Stück zusammenzudrücken, wie das ist, um welches er sich ausdehnt.

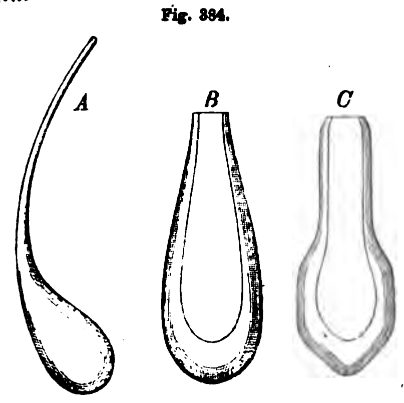
[87] Die Apparate, mit deren Hülfe diese sehr kleinen Größenveränderungen gemessen werden, sind zu verwickelt, um hier beschrieben zu werden.

dehnungscoëfficient des Zinks. 0,0000882 ist aber gleich 3. 0,0000294 und führt man für andere Stoffe die nämliche Berechnung aus, so zeigt sich, daß bei allen starren Körpern der cubische Ausdehnungscoëfficient das Dreifache des linearen ist.

Eine Eisenbahnschine kann sich im Winter auf —30° abkühlen, im Sommer bei Sonnenschein auf 50° erwärmen. Beträgt ihre Länge bei 0° gerade 6^{m}, so wird sie bei —30° um 30. 0,0000123. 6^{m}, dies ist um 0^{m},002214 = 2^{mm},214 kürzer, bei 50° um 50. 0,0000123. 6^{m} oder um 0^{m},00369 = 3^{mm},69 länger sein; ihre Länge wird sich also im Ganzen um 5^{mm},904 ändern. Man muß für diese Längenänderung beim Legen der Schienen den nöthigen Raum lassen; wollte man die Schienen in der Kälte dicht an einanderlegen, so würden dieselben beim Ausdehnen in der Wärme sich entweder verbiegen oder nach der Seite fortdrängen.

An den eisernen Telegraphendrähten kann man leicht beobachten, daß sie im Sommer schlaffer hängen, als im Winter. Bei der verhältnißmäßig starken Spannung, welche diese Drähte haben, bewirkt schon eine geringe Längenzunahme eine merkliche Senkung des mittleren Theiles.

Fig. 384.



A nat. Gr., B, C $^{2}/_{3}$ nat. Gr.

Die Zusammenziehung heißen Metalles beim Abkühlen benutzt man zu manchen Befestigungen. Eiserne Reifen, welche im glühenden Zustande auf einen Körper (z. B. ein Wagenrad) leicht passend aufgeschoben werden, umschließen denselben nach ihrer Abkühlung außerordentlich fest.

Das Springen des Glases, welches bei schnellem Erwärmen oder Abkühlen leicht vorkommt, hat seinen Grund ebenfalls in der Ausdehnung oder Zusammenziehung. Aendert sich die Temperatur eines Glasstücks langsam, so daß alle Theile gleichmäßig sich ausdehnen oder zusammenziehen, so wird dadurch der Zusammenhang der Theile nicht gestört; bei schnellem Erwärmen werden die äußeren Theile stärker ausgedehnt, als die inneren, welche die Wärme später erhalten; infolgedessen reißen die äußeren Theile die inneren auseinander und ein einmal gebildeter Riß geht dann der Sprödigkeit des Glases wegen gewöhnlich durch die ganze Dicke desselben hindurch. Bei schnellem Abkühlen wollen sich die äußeren Theile schneller zusammenziehen, als die inneren Theile, dadurch zereißen die ersteren. Dickwandiges Glas springt weit leichter, als dünnwandiges; weil die Wärme bei ihm viel länger braucht, um zu den inneren Theilen zu gelangen, oder sie zu verlassen und weil dünnere Körper biegsamer sind, als dicke, also bei einer gleich starken Veränderung ihrer Form weniger leicht brechen.

Nach der Bearbeitung muß das Glas, zumal das starkwandige, sehr langsam abgekühlt werden, sonst wird es außerordentlich spröde. Der Grund davon läßt sich nicht ganz genau angeben; zum Theil mag er darin liegen, daß beim schnellen Erstarren des weichen Glases die Moleküle nicht Zeit haben, eine gleichartige Lagerung anzunehmen; es mögen manche Moleküle weiter von einander entfernt bleiben, als andere und deshalb sich in einem

Zustande großer Spannung befinden; bei einem verhältnißmäßig geringen Anlasse bewirkt dann diese Spannung ein Zerbrechen des Glases.

Interessante Beispiele der Sprödigkeit des Glases sind die sogenannten Glasthränen und Bologneser Fläschchen. Die Ersteren, Fig. 384 A, werden dargestellt, indem man flüssiges Glas in Wasser tropfen läßt. Die meisten Tropfen zerspringen freilich bei der raschen Abkühlung; diejenigen aber, welche dabei nicht entzwei gehen, zeigen eine große Festigkeit. Man kann den dicken Theil derselben auf eine Holzunterlage legen und mit einem gewöhnlichen Hammer ziemlich kräftig darauf schlagen, ohne sie zu beschädigen. Ein centimeterlanges Stück des dünnen Endes abzubrechen, erfordert eine beträchtliche Kraft; manchmal kommt man mit bloßen Fingern nicht zum Ziele und muß die Flachzange zu Hülfe nehmen. Sobald man aber ein solches Ende abbricht, zerfällt das ganze Glasstück in kleine Stückchen, etwa von der Größe der gewöhnlichen Kochsalzkörnchen. Hält man die Glasthräne frei, so werden die Glasstücke umhergeschleudert; besser ist es, sie mit der linken Hand fest zu umfassen, so daß nur das abzubrechende Ende vorsteht; bei der Zertrümmerung des Glases fühlt man dann in der Hand einen mäßigen Schlag, der aber ganz unschädlich ist.

Die Bologneser Fläschchen sind nichts als kleine, dickwandige Fläschchen die man nicht in besonderen Oefen hat langsam abkühlen lassen, wie man es mit Glaswaaren thut, welche zum eigentlichen Gebrauch dienen sollen, sondern die unmittelbar, nachdem man sie dargestellt hat, an der Luft liegen bleiben. Sie haben, wenn sie von grünem Glase sind, gewöhnlich die Form Fig. 384 B, wenn sie von weißem sind, die Form 384 C. Diese Fläschchen vertragen an ihrer äußeren Seite starke Erschütterungen, ohne zu zerbrechen; man kann sie mit der Hand so umfassen, daß nur der dicke Boden aus der Faust vorsteht und dann mit voller Gewalt auf einen hölzernen Tisch aufschlagen oder kann sie ein Meter hoch herunter auf einen Stein fallen lassen oder kann mit einem Hammer auf den dicken Boden schlagen — sie bleiben unbeschädigt oder es splittert höchstens ein flaches Stück von dem gewölbten Boden ab. Sobald man ihnen aber auf der Innenseite das kleinste Rißchen beibringt, zerspringen sie in Stücke. Man faßt am Halse sie zwischen Daumen und Mittelfinger und läßt ein 6 bis 8^{mm} großes Stückchen Feuerstein hineinfallen, verschließt die Mündung mit der Spitze des Zeigefingers und schüttelt etwas; der Feuerstein ist härter als das Glas, er ritzt dasselbe und der dicke Theil fällt, gewöhnlich in mehreren Stücken, heraus. Oft braucht man nicht einmal zu schütteln; das Feuersteinstückchen ritzt beim bloßen Hineinfallen das Glas und fällt sofort sammt dem Boden unten durch.

Die kleinen Bruchstücke der Glasthränen sind stumpfkantig, die großen der Bologneser Flaschen aber meist sehr scharf; man hüte sich, daß man sich beim Forträumen der Letzteren nicht schneidet.

Eingeschliffene Glasstöpsel setzen sich oft so fest in die Hälse von Flaschen ein, daß man sie ohne Gefahr des Zerbrechens nicht wieder heraus bekommt. Mäßiges, anhaltendes Klopfen an den Griff des Stöpsels mit einem Holzstück lockert denselben meist, aber nicht immer. Hilft es nicht, so erwärmt man den Hals vorsichtig unter fortwährendem Drehen über der Weingeist- oder Gasflamme (nicht stärker, als daß man ihn noch mit der Hand berühren kann); der Hals wird schneller warm, als der darin sitzende Stöpsel; ersterer erweitert sich, ohne daß letzterer sich vergrößert und dadurch wird dieser locker, so daß er sich bequem herausheben läßt.

Man darf den Stöpsel in den Hals einer auf diese Weise geöffneten Flasche erst dann wieder einsetzen, wenn der Hals völlig abgekühlt ist; sonst geht der Stöpsel

zu tief in den erwähnten Hals hinein, und wenn sich dieser nachher zusammenzieht, zerspringt er entweder oder umspannt den Stöpsel so fest, daß dieser nur mit Gefahr wieder herauszubringen ist.

Es ist schon oben erwähnt worden, daß tropfbare Körper sich stärker ausdehnen, als starre; dies läßt sich auch erkennen an dem Verhalten eines sogenannten Kaltwasserschwimmers Fig. 385, d. i. eines zugeschmolzenen Gläschens, das durch theilweise Füllung mit Wasser soweit beschwert ist, daß es in kaltem Wasser schwimmend nur einige Millimeter über die Oberfläche desselben vorragt. Bringt man dasselbe in kochendes oder wenigstens sehr heißes Wasser, so sinkt es unter. Wenn das Volumen eines Körpers zunimmt, während sein absolutes Gewicht ungeändert bleibt, so muß natürlich sein specifisches Gewicht abnehmen und zwar um so mehr, je stärker die Ausdehnung ist. Wenn wir nun sehen, daß das kalte Wasser specifisch schwerer als das kalte Gläschen, das warme Wasser aber specifisch leichter ist, als das warme Gläschen, wenn wir also sehen, daß das specifische Gewicht des Wassers stärker abnimmt, als daß des Glases, so können wir daraus schließen, daß sich das Wasser stärker ausdehnt, als das Glas.

Fig. 385.

½ nat. Gr.

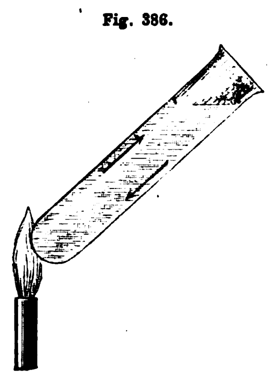
Ein solcher Schwimmer wird aus einem kleinen Probirgläschen gemacht, das man in der Flamme der Weingeist- oder Gaslampe zu einer Spitze auszieht. Um sich nicht zu verbrennen schiebt man in die Mündung des Probirglases einige Millimeter einen mäßig streng passenden Kork ein, der als Griff dient und erlaubt, das Glas ziemlich nahe an der Mündung zu erwärmen. Der Kork darf aber nicht luftdicht schließen, weil sonst die eingeschlossene Luft durch ihre Ausdehnung das weich werdende Glas bauchig auftreiben würde; deshalb versieht man den Kork der Länge nach mit einer Rinne, die man durch zwei schräge Messerschnitte herstellt.

Man benutze zum Erwärmen eine kleine Flamme und drehe die beiden Enden des Glases recht gleichmäßig, zunächst ohne zu ziehen. Dabei verengt sich der weich werdende Theil des Gläschens, indem er zugleich etwas stärkere Wandungen bekommt — wollte man gleich ziehen, so würde der dünne Theil des Glases gar zu dünnwandig und zerbrechlich werden. Nachdem das Glas auf die gewünschte Dünne ausgezogen und abgekühlt ist, ritzt man ganz schwach mit einer feinen, befeuchteten Feile und bricht ab. Eine lang und sehr dünn ausgezogene Glasröhre saugt man voll Wasser und spritzt dasselbe in das Gläschen, indem man den dünnen Theil der Röhre durch die enge Oeffnung des Gläschens einschiebt. Man bringt soviel Wasser zu, daß das Gläschen in kaltem Wasser bis auf 5 oder 6^{mm} vom Ende einsinkt; hat man zuviel Wasser eingefüllt, so entfernt man den Ueberschuß, indem man das Gläschen mit der Mündung abwärts hält und schüttelt. Wenn man die richtige Füllung erreicht hat, so schmilzt man das Gläschen zu, indem man es senkrecht hält und die Spitze der Löthrohrflamme auf die äußerste Spitze des Glases richtet. Diese muß trocken sein; eine Spur etwa darin sitzenden Wassers saugt man mittelst der ausgezogenen Glasröhre weg.

Die Abnahme des specifischen Gewichts beim Erwärmen verursacht eine Bewegung der Flüssigkeit, wenn die Erwärmung am unteren Theile der Flüssigkeit stattfindet. Die erwärmten, leichteren Flüssigkeitstheilchen steigen auf; dafür sinken schwerere nieder, um sich ebenfalls zu erwärmen, aufzusteigen

und durch andere, kältere Theile ersetzt zu werden; dieser Kreislauf dauert fort, bis die ganze Flüssigkeitsmasse gleiche Temperatur angenommen hat. Den **Kreislauf des Wassers** beim Erwärmen kann man am leichtesten beobachten, wenn man den untersten Theil eines schräg gehaltenen, mit Wasser gefüllten Probirglases in den Rand einer Flamme bringt, wie Fig. 386 zeigt. An der oberen Seite des Gläschens steigt der Strom des warmen Wassers auf, an der unteren sinkt das kalte Wasser nieder, wie durch den Pfeil angedeutet ist.

Fig. 386.



¼ nat. Gr.

Gewöhnliches Brunnenwasser zeigt fast immer kleine Stäubchen, welche die Bewegung derselben sichtbar machen; sind solche nicht vorhanden, so zerreibe man ein millimetergroßes Stück Fließpapier in einer Reibschale mit einigen Tropfen Wasser und bringe die zerfaserte Masse in das Probirglas; die feinen Fasern werden von dem Wasser mit umhergeführt und lassen seine Bewegung deutlich erkennen.

Wenn von zwei **communicirenden Röhren**, welche die nämliche Flüssigkeit enthalten, die eine **warm**, die andere **kalt** ist, so wird in ersterer die Flüssigkeit etwas höher stehen, als in letzterer. Am deutlichsten ist der Höhenunterschied, wenn man Petroleum anwendet. Fig. 387 zeigt eine Vorrichtung, welche gestattet, das petroleumgefüllte Rohr ohne jede Gefahr einer Entzündung zu erwärmen. Der eine Schenkel der gebogenen Röhre ist mittelst eines dichtschließenden Korkes in ein weiteres Glasrohr eingesetzt; man füllt zuerst das enge Rohr bis auf einige Centimeter vom Ende mit Petroleum, dann das weite Rohr bis nahe an den Rand mit heißem Wasser.

Fig. 387.

¼ nat. Gr.

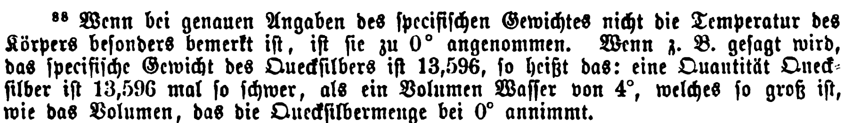
Zum Füllen des engen Rohres kann man das bei der Herstellung des Kaltwasserschwimmers abfallende Stückchen Probirglas als Trichter benutzen. Eine Pipette zu nehmen ist nicht räthlich, weil sich dieselbe schwer wieder reinigen läßt. Hat man kein weites Glasrohr, so kann man einen Moderateurlampencylinder als Mantel zur Aufnahme des heißen Wassers benutzen; man nimmt die weite Oeffnung desselben nach oben. Ehe man ihn zu der Vorrichtung benutzt, stecke man ihn in einen großen Topf mit kaltem Wasser, erhitze ihn darin bis zum Sieden des Wassers und lasse ihn im Wasser wieder langsam abkühlen; ohne diese Vorsichtsmaßregel springt er leicht, wenn man ihn mit heißem Wasser füllt.

Wie schon erwähnt dehnt sich nur das Quecksilber ziemlich regelmäßig aus; eine ganz eigenthümliche Unregelmäßigkeit zeigt das Wasser in der Nähe seines Gefrierpunktes. Wasser von 0° dehnt sich nämlich beim Erwärmen nicht aus, sondern zieht sich ein ganz klein wenig zusammen, bis es 4° warm geworden ist; beim weiteren Erwärmen dehnt es sich aus und zwar mit zunehmender Temperatur immer stärker. Eine Wassermenge nimmt deshalb bei 4° das kleinste Volumen ein; das Wasser hat bei 4° das größte specifische Gewicht, man sagt, es hat bei dieser Temperatur sein **Dichtigkeitsmaximum**. Das specifische Gewicht des Wassers bei 4° ist dasjenige,

welches man als 1 annimmt; genaue Angaben des specifischen Gewichtes drücken also aus, wieviel mal so schwer ein Körper ist, als ein gleiches Volumen Wasser von 4°; das Gramm ist das Gewicht eines Cubiccentimeters Wasser von 4°.[88]

Die Ermittelung der Größe der Ausdehnung ist bei den Flüssigkeiten ziemlich umständlich, weil bei einer Aenderung der Temperatur auch die Gefäße, in denen man die Flüssigkeit hat, ihr Volumen ändern. Ganz besonders schwierig aber ist die genaue Untersuchung der Volumenänderungen des Wassers in der Nähe des Gefrierpunktes, weil sie sehr gering sind — von 4° bis 0° dehnt sich das Wasser nur um ohngefähr den achttausenden Theil seines Volumens aus.

Fig. 388.



$1/_6$ nat. Gr.

Will man aber nicht die Größe dieser Veränderungen messen, sondern nur nachweisen, daß Wasser von nahezu 0° leichter ist, als solches, das einige Grad wärmer ist, so ist dies leicht zu machen. Man bringt in ein etwas großes Glas Wasser und soviel klein geschlagenes Eis, das letzteres fast die obere Hälfte des Gefäßes einnimmt und senkt zwei Thermometer so weit ein, wie Fig. 388 zeigt, so daß sich das Quecksilbergefäß des einen ziemlich am Boden des Glases, das des anderen in der Mitte des Eises befindet.

Die durch die Berührung mit dem Eise abgekühlten Theile des Wassers sinken zu Boden, so lange sie durch die Abkühlung noch schwerer werden, als das übrige Wasser, also solange, bis sie eine Temperatur von 4° erreicht haben; bei noch weiterer Abkühlung werden sie wieder leichter und bleiben oben; nachdem das Gefäß einige Zeit ruhig gestanden hat, zeigt das untere Thermometer nahezu 4°, das obere nahezu 0°.

Daß die Thermometer nicht genau 0° und 4° zeigen, hat seinen Grund darin, daß die das Gefäß umgebende Luft fortdauernd Wärme an das Gefäß und unmittelbar an das Wasser abgiebt. Der Versuch muß in einem kühlen Zimmer angestellt werden, weil bei zu starker Erwärmung von außen das Wasser in zu lebhafte Bewegung kommt, so daß sich die verschiedenen schweren Theile nicht ordentlich trennen können. (In einem Zimmer, dessen Temperatur 2° ist, stellen sich die Thermometer genau auf 0° und 4°).

Die beiden Thermometer werden mit Retortenhaltern in der gewünschten Lage befestigt.

---

[88] Wenn bei genauen Angaben des specifischen Gewichtes nicht die Temperatur des Körpers besonders bemerkt ist, ist sie zu 0° angenommen. Wenn z. B. gesagt wird, das specifische Gewicht des Quecksilbers ist 13,596, so heißt das: eine Quantität Quecksilber ist 13,596 mal so schwer, als ein Volumen Wasser von 4°, welches so groß ist, wie das Volumen, das die Quecksilbermenge bei 0° annimmt.

Wo es nicht auf größte Genauigkeit ankommt, vernachlässigt man gewöhnlich die Fehler, welche dadurch begangen werden, daß das specifische Gewicht des Wassers auch bei anderen Temperaturen, als 4°, gleich 1 gerechnet wird; weil bei den gewöhnlich vorkommenden Temperaturen die Abweichungen nur klein sind. Bei 0° ist das specifische Gewicht des Wassers 0,99988, bei 10° 0,99975, bei 20° 0,99831; bei 100° ist es wesentlich kleiner, nämlich 0,9588.

Von einem linearen **Ausdehnungscoëfficienten** kann natürlich bei tropfbaren Körpern nicht die Rede sein, von einem cubischen eigentlich auch nur beim **Quecksilber**, weil nur dieses bei verschiedenen Temperaturen gleiche Ausdehnung zeigt. Der Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers ist 0,00018153 oder $^1/_{5509}$.[89]

Die Ausdehnung der Gase unterscheidet sich nicht nur dadurch von der der anderen Körper, daß sie beträchtlich größer ist, sondern auch dadurch, daß sie für alle Gase gleich groß ist, während die verschiedenen starren und die verschiedenen tropfbaren Körper ganz verschieden starke Ausdehnung zeigen. Sie ist eine ganz gleichmäßige; der Ausdehnungscoëfficient beträgt bei allen Temperaturen 0,003665 oder $^1/_{273}$.[90]

Erwärmt man Luft (oder einen anderen gasigen Körper) in einem verschlossenen Gefäße, so daß keine Ausdehnung (oder nur eine so geringe, wie sie das Gefäß selbst erleidet) stattfinden kann, so nimmt anstatt des Volumens der **Druck** zu und zwar gerade in dem nämlichen Verhältniß, wie das Volumen zugenommen haben würde, wenn die Luft sich bei gleichbleibendem Druck ungehindert hätte ausdehnen können. Man kann auch sagen, daß der Druck in diesem Falle so groß wird, wie er geworden wäre, wenn die Luft sich erst bei gleichbleibendem Druck hätte ausdehnen können und man sie dann wieder auf das ursprüngliche Volumen zusammengedrückt hätte. 1^{cc} Luft von 0° und 760^{mm} Druck würde sich beim Erwärmen um 100° um $^{100}/_{273}$ ausdehnen und also einen Raum von $1^{100}/_{273}{}^{cc}$ einnehmen, wenn der Druck beim Erwärmen gleich bliebe; würde man nun die $1^{100}/_{273}{}^{cc}$ Luft wieder auf 1^{cc} zusammendrücken, so würde nach dem Mariotte'schen Gesetz der Druck im Verhältniß von 1 zu $1^{100}/_{273}$ zunehmen; man würde den schließlichen Druck also finden nach der Proportion

$$1 : 1^{100}/_{273} = 760^{mm} : x$$
$$x = 760 \cdot {}^{373}/_{273} = 1038^{mm},4.$$

Da die Ausdehnung gasiger Körper viel stärker ist, als die der starren und tropfbaren (sie dehnen sich für eine Erwärmung um 100° um nahezu $^{11}/_{30}$ aus, während sich Eisen für dieselbe Erwärmung um ohngefähr $^1/_{813}$, Wasser um ohngefähr $^2/_{47}$ ausdehnt), so kann man sie bei der Angabe des specifischen Gewichtes der Gase nicht vernachlässigen; schon innerhalb der

---

[89] Bei genauen Messungen des Luftdrucks muß man berücksichtigen, daß das specifische Gewicht des Quecksilbers sich mit der Temperatur ändert. Man berechnet dann immer, wie hoch eine 0° warme Quecksilbersäule sein müßte, um denselben Druck auszuüben, wie die, welche man im Barometer hat. Diese Rechnung, die sogenannte **Reduction des Barometerstandes**, führt man nach folgender Regel aus: Man multiplicirt den abgelesenen Barometerstand mit 5509 und dividirt ihn durch die Zahl, welche man erhält, wenn man zu 5509 die Temperatur des Quecksilbers im Barometer addirt. Findet man bei einer Temperatur von 16° einen Barometerstand von 755^{mm}, so ist der reducirte Barometerstand $\frac{755 \cdot 5509}{5509 + 16} = \frac{4165295}{5525} = 753^{mm},9$.

[90] Es ist dies nicht so zu verstehen, daß eine Gasmasse von jeder beliebigen Temperatur sich bei einer Erwärmung um 1° um $^1/_{273}$ des Volumens ausdehnt, welches sie bei dieser Temperatur besitzt, sondern um $^1/_{273}$ des Volumens, welches sie bei 0° einnehmen würde.

273^{cc} Luft von 0° dehnen sich für jeden Grad Temperaturzunahme um $273 . ^1/_{273}$, also um 1^{cc} aus; sie nehmen bei 1° 274^{cc}, bei 100° 373^{cc}, bei 101° 374^{cc} ein; die Luft von 100° dehnt sich also beim Erwärmen um 1° aus um $^1/_{373}$ des Volumens, das sie bei 0° hatte, aber um $^1/_{373}$ des Volumens, das sie bei 100° hat.

Grenzen, in denen die Temperatur der gewöhnlichen atmosphärischen Luft schwankt, kann sie die specifischen Gewichte um mehrere Zehntel ihres ganzen Betrages ändern. Außerdem muß bei der Angabe des specifischen Gewichtes eines Gases stets auch angegeben werden, unter welchem Druck sich dieses befindet, weil der Druck ebensosehr, wie die Wärme, das specifische Gewicht beeinflußt.

Bei einer Temperatur von 0° und einem Druck von 760^{mm} Quecksilber ist das specifische Gewicht von

Ammoniakgas	0,000762
Atmosphärischer Luft ...	0,001293
Kohlensäure	0,001969
Sauerstoffgas	0,001432
Wasserstoffgas	0,000089.

Ein Liter (1000^{cc}) Luft von 0° und 760^{mm} Druck wiegt also $0^{kgr},001293$ oder $1^{gr},293$. Erwärmt man dasselbe auf 15°, so dehnt es sich um $^{15}/_{273} . 1000 = 54^{cc},945$ aus, vergrößert sich also auf $1054^{cc},945$. Da ein solches Volumen Wasser $1054^{gr},945$ wiegt, so ist das specifische Gewicht der Luft $\frac{1,293}{1054,945} = 0,001226$. Nimmt bei gleicher Temperatur der Druck auf 744^{mm} ab, so würden sich die $1054^{cc},945$ im Verhältniß von 744 zu 760 ausdehnen,

$$744 : 760 = 1054,945 : x$$
$$x = 1077^{cc},63.$$

Die $1^{gr},293$ schwere Luftmasse nimmt also bei 15° und 744^{mm} Druck ein Volumen von $1077^{cc},63$ ein. Ein gleiches Volumen Wasser wiegt $1077^{gr},63$, das specifische Gewicht der Luft ist also dann $\frac{1,293}{1077,63} = 0,0012$.

In ähnlicher Weise, wie hier gezeigt, läßt sich für jeden Druck und jede Temperatur das specifische Gewicht eines Gases berechnen, wenn es für 0° und 760^{mm} Druck bekannt ist.

Da gasige Körper sich viel mehr ausdehnen und also auch verhältnißmäßig mehr an specifischem Gewicht abnehmen, als tropfbare, so tritt eine sehr lebhafte Bewegung beim Erwärmen derselben ein.

Das Aufsteigen der durch Erwärmen leichter werdenden Luft ist schon S. 196 erwähnt worden. Wenn im Winter der Ofen eines Zimmers stark geheizt wird, während an den Wänden und Fenstern eine beträchtliche Abkühlung der Luft stattfindet, so findet ein Kreislauf der Luft in der Weise statt, daß die erwärmte Luft am Ofen aufsteigt, an der Decke sich ausbreitet, an den Wänden und Fenstern kälter werdend sich niedersenkt und auf dem Fußboden nach dem Ofen zurückströmt um sich da von neuem zu erwärmen und aufzusteigen. In einem mit mehreren Personen angefüllten Zimmer läßt sich dieser Kreislauf wahrnehmbar machen, wenn man einige Tropfen Räucheressenz auf den Ofen gießt. Die riechenden Dämpfe werden von der bewegten Luft mit fortgeführt und werden zuerst den in der Nähe der Fenster befindlichen Personen bemerklich, später erst den in der Mitte des Zimmers und noch später den ziemlich nahe am Ofen befindlichen.

Der Zug in Essen und Lampencylindern ist auch eine Folge davon, daß die warme Luft leichter ist, als die kalte.

Wenn zwei nebeneinanderliegende Räume mit verschieden warmer Luft

mit einander in Verbindung stehen, so fließt unten die kalte, schwere Luft aus dem kalten Raume nach dem warmen, oben die warme in entgegengesetzter Richtung. In der Natur entstehen auf diese Weise die Winde; im Kleinen kann man diesen Doppelstrom leicht beobachten, wenn man eine Thür, die von einem geheizten Raume in einen kalten führt, einige Centimeter weit öffnet und in den Spalt eine brennende Kerze hält; im oberen Theile der Thür wird die Flamme stark nach dem kalten Raume, im unteren nach dem warmen geweht, während sie in mittlerer Höhe ziemlich ruhig brennt.

55. **Schmelzen und Erstarren.** Die Wärme vermindert die Cohäsion und vermehrt die Expansion der Körper; dies zeigt sich an der Zunahme des Volumens und bei starren Körpern auch an der Abnahme der Festigkeit (glühendes Eisen z. B. ist viel weicher, als kaltes.)

Bei starren Körpern ist die Cohäsion viel größer, als die Expansion (vergl. S. 19); wenn nun durch Erwärmen die Cohäsion bedeutend abnimmt, die Expansion bedeutend wächst, so wird schließlich die erstere nur noch wenig größer sein, als die letztere: der starre Körper wird tropfbar, er schmilzt. Umgekehrt geht ein tropfbarer Körper beim Abkühlen in den starren Zustand über, er erstarrt oder gefriert. Die Temperaturen, bei welchen starre Körper schmelzen und bei welchen tropfbare gefrieren, sind sehr verschieden, für einen und denselben Stoff aber ist die Temperatur des Schmelzpunktes zugleich auch die des Gefrierpunktes oder Erstarrungspunktes[91]. So ist 0° sowol der Schmelzpunkt des Eises, als der Gefrierpunkt des Wassers. Bringt man Eis, welches kälter ist, als 0°, in einen warmen Raum, so steigt, wie schon S. 473 erwähnt, die Temperatur des Eises bis 0° und bleibt dann während des Schmelzens selbst unverändert. Stellt man ein Gefäß mit Wasser in einen kalten Raum (oder im Sommer in eine sog. Kältemischung, siehe weiter unten), so sinkt die Temperatur des Wassers bis auf 0° und bleibt dann auf 0°, solange das Gefrieren dauert.

Schmelzpunkte[92] einiger Stoffe:

Stoff	Schmelzpunkt	Stoff	Schmelzpunkt
Schmiedeeisen	1600 bis 1500	Blei	330
Stahl	1400 bis 1300	Cadmium	321
Gold	1200	Wismuth	256
Gußeisen	1200 bis 1050	Zinn	230
Kupfer	1050	Schwefel	111
Silber	1000	Stearinsäure	70
Zink	360	Quecksilber	—39

Ein starrer Körper läßt sich nie über seinen Schmelzpunkt — Eis nie über 0° — erwärmen, ohne flüssig zu werden. Wol aber geschieht zuweilen das Entgegengesetzte, daß sich ein Körper unter seinen Gefrierpunkt oder Erstarrungspunkt abkühlt, ohne zu erstarren. Diese ausnahmsweise eintretende Erscheinung nennt man Ueberschmelzung. Für das Zustandekommen der Ueberschmelzung ist nothwendig, daß die Abkühlung nicht zu schnell vor sich

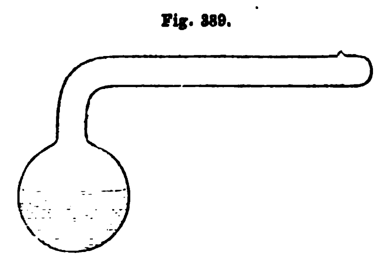
[91] Gefrieren sagt man von solchen Stoffen, welche bei gewöhnlicher Temperatur tropfbar, erstarren von solchen, welche bei gewöhnlicher Temperatur fest sind.

[92] Bis zum Blei aufwärts lassen sich diese Schmelzpunkte mit Hülfe eines gewöhnlichen Thermometers bestimmen; die genaue Ermittelung höherer Temperaturen bietet große Schwierigkeiten und kann hier nicht besprochen werden.

geht und die Flüssigkeit während der Abkühlung ganz ruhig ist. Im Winter bei strenger Kälte hat man oft Gelegenheit die Ueberschmelzung zu beobachten, an Gefäßen mit Wasser, welche in einem ungeheizten Zimmer sich langsam unter 0° abgekühlt haben; das Wasser ist oft flüssig, bis man versucht, es auszugießen: dabei verwandelt es sich dann in einen Brei von Eiskrystallen.

Sehr leicht tritt die Ueberschmelzung beim Wasser ein, wenn dasselbe ganz frei von Luft ist (gewöhnliches Wasser enthält immer geringe Mengen von Luft gelöst), also im luftleeren Raume. Es giebt gläserne Gefäße, welche zum Theil mit Wasser gefüllt, im Uebrigen aber luftleer gemacht und dann luftdicht verschmolzen sind, sogenannte Wasserhämmer (s. §. 56), die sich recht gut eignen, die Ueberschmelzung zu zeigen. Solche Wasserhämmer können verschiedene Formen haben; eine Form, welche recht zweckmäßig ist, weil sie sich zu ganz verschiedenartigen Versuchen benutzen läßt, zeigt Fig. 389. Legt man eine solche Vorrichtung bei mäßiger Winterkälte in's Freie, so ist mit ziemlicher Sicherheit darauf zu rechnen, daß das Wasser nicht gefriert, solange es in Ruhe bleibt, selbst wenn die Kälte 10 bis 15° beträgt; beim Schütteln erstarrt es aber dann sofort zu einem Eisbrei.

Fig. 389.



¼ nat. Gr.

Will man die Ueberschmelzung im warmen Zimmer und in verhältnißmäßig kurzer Zeit beobachten, so kühlt man den Wasserhammer ab durch Einsetzen in ein Gemisch von Schnee oder Eis und Kochsalz. Eis von 0° giebt, in passender Menge mit Kochsalz gemischt, eine Kälte von —18 bis —21° (vergl. §. 58), diese ist zu groß und bewirkt gewöhnlich ein Gefrieren des eingebrachten Wasserhammers. Dagegen gelingt der Versuch meist, wenn man ein Gefäß (eine Schüssel oder einen etwas breiten Topf) von etwa 1 Liter Inhalt mit kleingeschlagenem Eise füllt, soviel Wasser darauf gießt, daß das Eis fast bedeckt ist, dann eine tüchtige Hand voll Kochsalz aufstreut und nun die Kugel des Wasserhammers in die Kältemischung eintaucht, indem man den Hammer in der in Fig. 389 gezeichneten Stellung mittelst eines Retortenhalters festklemmt. Nach etwa 10 bis 15 Minuten ist gewöhnlich das Wasser noch flüssig, aber unter 0° abgekühlt; man hebt die Vorrichtung ganz vorsichtig aus dem Kältegemisch, wischt sie ab (wobei man aber nur das Wischtuch, nicht den Wasserhammer bewegen darf) und schüttelt dann kräftig, um das Erstarren zu bewirken.

Anstatt des Kochsalzes kann man zu Kältegemischen das viel billigere, rothgefärbte Viehsalz nehmen.

Will man sich mittelst des Thermometers überzeugen, daß die Temperatur des Wassers bei der Ueberschmelzung wirklich unter 0° sinkt, so muß das Thermometer schon vor der Abkühlung in's Wasser gebracht werden; ein Eintauchen des Thermometers in das bereits überschmolzene Wasser würde nichts nützen. Bei der durch Erschütterung hervorgerufenen Erstarrung erwärmt sich nämlich ein überschmolzener Körper von selbst wieder auf seinen Schwerpunkt, und da die Erschütterung beim Eintauchen des Thermometers hinreichend ist, die Erstarrung zu veranlassen, so würde man am Thermometer nur die Temperatur 0° finden. Man setze eiu Thermometer in den Hals einer nicht ganz mit Wasser gefüllten Flasche mittelst eines durchbohrten Korkes ein und stelle die Flasche zur Winterszeit in's Freie — im verschlossenen Gefäße tritt die Ueberschmelzung leichter ein, als in einem ganz offenen.

Ein Stoff, bei welchem die Ueberschmelzung sehr leicht eintritt, ist das unterschwefligsaure Natrium oder unterschwefligsaure Natron, ein weißes Salz, das in der Photographie vielfach Verwendung findet. Der

Schmelzpunkt des Salzes ist 57°. Läßt man das geschmolzene Salz langsam abkühlen, so bleibt es meist auch bei der gewöhnlichen Lufttemperatur noch lange flüssig. Die flüssige Masse erfordert manchmal ein sehr kräftiges Schütteln, ehe sie erstarrt. Noch wirksamer, als Schütteln ist zur Aufhebung der Ueberschmelzung das Zubringen einer ganz geringen Menge des nämlichen Stoffes im starren Zustande. Streut man auf das überschmolzene Salz ein paar kaum sichtbare Körnchen des festen Salzes, so erstarrt schnell die ganze Masse zu einem Krystallbrei.

100 bis 200^{grm} des unterschwefligsauren Natriums schmilzt man in einem Kochfläschchen, aber nicht über der Flamme, weil dabei das Fläschchen leicht springt, sondern in einem Bade von heißem Wasser. Man bringt entweder das Kochfläschchen in einen kleinen Topf voll Wasser, der so eng ist, daß das Fläschchen darin nicht umfallen kann und erhitzt den Topf im Ofen oder nimmt einen flachen Blechtopf, den man auf dem Kochgestell mittelst der Gas- oder Berzeliuslampe erhitzt.

Die Erwärmung muß so lange fortgesetzt werden, bis kein Körnchen des Salzes mehr im festen Zustande vorhanden ist; so wie die kleinste Menge festen Salzes die überschmolzene Masse zum Erstarren bringt, so würde sie das Eintreten der Ueberschmelzung verhindern. Zur Abkühlung der geschmolzenen Masse sind einige Stunden erforderlich.

Die Erwärmung der Masse beim plötzlichen Erstarren ist so stark, daß sie unmittelbar mit der Hand zu fühlen ist.

Legirungen, d. h. Mischungen von Metallen, welche sich durch Zusammenschmelzen vermischen lassen, besitzen meist einen niedrigeren Schmelzpunkt, als man nach den Schmelzpunkten ihrer Bestandtheile erwarten sollte. Es kommt sogar vor, daß die Legirung leichter schmilzt, als der leichtflüssigste ihrer Bestandtheile für sich allein. Unser Weichloth schmilzt bei etwa 170° also 60° unter dem Schmelzpunkt des Zinns. Am auffälligsten ist der niedrige Schmelzpunkt des sogenannten Wood'schen Metalls, einer Legirung von 7 Gewichtstheilen Wismuth, 4 Gewichtstheilen Blei, 2 Gewichtstheilen Zinn und 1 Gewichtstheil Cadmium. Dieses Metall schmilzt zwischen 60° und 70°, also schon wenn man es in nahe zum Sieden erhitztes Wasser taucht. Ein dünnes Stäbchen davon kann man an einem Ende bis zum Schmelzen erwärmen und sich das flüssige Metall auf die Fingerspitze streichen, ohne sich dabei zu verbrennen.

Wismuth ist ein sehr sprödes Metall von weißer Farbe mit einem Stich in's Röthliche; es läßt sich im Möser stoßen. Cadmium ist ein Metall, das große Aehnlichkeit mit dem Zink hat. Zur Darstellung der Wood'schen Legirung schmilzt man in einem eisernen Löffel zuerst das Wismuth, setzt dann das Blei, das Zinn und Cadmium unter Umrühren mit einem Spahn zu. Man erhitze den Löffel nicht mehr, als eben nöthig, damit nicht zuviel von den Metallen verbrennt. Weniger als 14^{grm} Wismuth, 8^{grm} Blei, 4^{grm} Zinn und 2^{grm} Cadmium zu nehmen, ist nicht räthlich. Die nach dem Schmelzen erhaltene Legirung schmilzt man in einem Probirglas voll Wasser, gießt dann das Wasser ab und das Metall in eine aus Papier zusammengerollte Hülse von 5 bis 6^{mm} Dicke, um ein Stäbchen zu bilden. Nahe unter seinem Schmelzpunkte ist das Wood'sche Metall spröde und zerbrechlich (ähnlich verhält sich Zinn bei 200°), bei gewöhnlicher Temperatur ist es ziemlich fest und einigermaßen biegsam.

Wenn ein starrer Körper schmilzt oder ein tropfbarer erstarrt, so ändert sich das Volumen; doch verhalten sich die Körper in dieser Beziehung sehr verschieden. Nicht nur ist bei manchen diese Aenderung unbedeutend, bei anderen sehr beträchtlich, sie zeigt sich sogar in ganz entgegengesetzter Weise. Manche Körper ziehen sich beim Schmelzen zusammen, andere dehnen sich beim Schmelzen aus. Welches von beiden stattfindet, ist leicht zu entscheiden,

wenn man beobachtet, ob beim Schmelzen eines starren Körpers die noch ungeschmolzenen Theile in der flüssigen Masse schwimmen oder untersinken.

Erwärmt man in einem großen Probirglas 20gr oder mehr Stearinsäure (einige Stücken einer Stearinkerze, aus denen man den Docht entfernt hat) bis zum Schmelzen, so sieht man die noch ungeschmolzenen Theile am Boden liegen, die starre Stearinsäure ist also schwerer, als die flüssige; die Stearinsäure dehnt sich beim Schmelzen aus.

Dagegen ist bekannt, daß Eis auf Wasser schwimmt; das Eis ist also leichter als Wasser, es zieht sich beim Schmelzen zusammen. Das specifische Gewicht des ganz blasenfreien Eises ist 0,91674 oder ziemlich genau $^{11}/_{12}$; 12cc Eis wiegen 11gr und geben beim Schmelzen 11cc Wasser; die **Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren** beträgt also $^{1}/_{11}$ seines Volumens. Diese Ausdehnung erfolgt mit großer Gewalt; Gefäße, welche ganz oder fast ganz mit Wasser gefüllt sind, werden beim Gefrieren desselben zersprengt, selbst wenn sie sehr feste Wände haben.

Von einer mit Wasser gefüllten und fest verkorkten Flasche, die man der Winterkälte aussetzt, wird zuweilen durch die Ausdehnung beim Gefrieren der Kork abgehoben, schließlich wird sie aber doch zersprengt, weil das gefrierende Wasser den Hals verschließt.

Ein verschlossenes Glas, welches ganz ähnlich hergestellt wird, wie der Kaltwasserschwimmer Fig. 385, das aber bis dicht an den engen Hals mit Wasser gefüllt ist, wird zersprengt, wenn man es einige Minuten in eine Kältmischung aus etwa 600grm Schnee oder zerkleinertem Eise und 200grm Kochsalz (ohne Wasserzusatz) legt. Das Glas wird dabei gewöhnlich in viele feine Längssplitter zertheilt, manchmal springt auch nur die Spitze ab. Zur Kältmischung nehme man ein flaches Gefäß, am besten von Blech; Glasgefäße zerbrechen manchmal bei der Erschütterung, welche das Zerspringen des Glasrohrs veranlaßt.

56. **Verdunsten, Verdampfen und Verdichten.** Feuchte Körper werden an der Luft allmählig trocken, das in oder auf ihnen befindliche Wasser geht nach und nach in den gasförmigen Zustand über und verschwindet, indem es sich durch Diffusion in der umgebenden Luft verbreitet: es **verdunstet**. Andere Flüssigkeiten zeigen ein ähnliches Verhalten, wie Wasser; manche Flüssigkeiten verdunsten allerdings unendlich langsam (so das Quecksilber), manche aber auch sehr viel rascher als Wasser (Aether, Schwefelkohlenstoff). Bei allen tropfbaren Flüssigkeiten ist die Verdunstung um so lebhafter, je höher die Temperatur ist.

Bei einer bestimmten Temperatur wird die Dampfbildung plötzlich viel stärker, als bei niedrigeren Temperaturen, der Dampf entwickelt sich in Blasen, welche ein Aufwallen der Flüssigkeit veranlassen, die Flüssigkeit **siedet**. Die Dampfbildung beim Sieden bezeichnet man vorzugsweise als **Verdampfung**.

So wie die Wärme die starren Körper durch Verminderung der Cohäsion und Vermehrung der Expansion in tropfbare verwandelt, so ist auch die Verdunstung und Verdampfung tropfbarer Körper eine Folge davon, daß die Wärme ihre Cohäsion so weit verringert und ihre Expansion soweit vergrößert daß schließlich letztere bedeutender wird, als erstere.[93]

Der bei Sieden des Wassers entstehende **Dampf** ist ganz ebenso farblos durchsichtig und darum unsichtbar, wie die meisten anderen Gase. Man

[93] Daß auch bei der bei gewöhnlicher Temperatur stattfindenden Verdunstung die Flüssigkeiten Wärme aufnehmen, werden wir später sehen.

überzeugt sich davon leicht, wenn man in einer Retorte oder einer enghalsigen Kochflasche Wasser zum lebhaften Sieden erhitzt: der mit Wasserdampf angefüllte Theil des Gefäßes erscheint völlig klar und durchsichtig. Erst beim Austritt in die kältere Luft wird der Dampf sichtbar, dabei hört er aber auf, eigentlich Dampf zu sein, er verwandelt sich in *Nebel*. Wenn nämlich der Dampf wieder unter den Siedepunkt abgekühlt wird, so geht er wieder in tropfbares Wasser über; erfolgt die Abkühlung in der Luft, so bildet das Wasser zahllose, feine Bläschen (wie unendlich kleine Seifenbläschen) welche uns als Nebel erscheinen. Der beim Abkühlen des Dampfes stattfindende Uebergang in den tropfbaren Zustand heißt *Verdichtung* oder *Condensation*.

Fig. 390.

1/4 nat. Gr.

Verdampft man eine tropfbare Flüssigkeit, welche starre Körper gelöst enthält, so bleiben diese zurück und durch Verdichtung des Dampfes kann man die Flüssigkeit wieder erhalten; man hat also in der Verdampfung und Wiederverdichtung ein Mittel, diese verschiedenen Arten von Körpern zu trennen, beziehntlich Flüssigkeiten von beigemengten Verunreinigungen durch lösliche, starre Stoffe zu reinigen. Diese Verdampfung und Wiederverdichtung nennt man *Destillation*. Zur Verdichtung der Dämpfe braucht man besondere *Kühlapparate*. Diese bestehen gewöhnlich aus einem Rohre, durch welche man den Dampf leitet und einem Wassergefäße, welches dieses Rohr umgiebt. Da das Kühlwasser durch den heißen Dampf ziemlich schnell erwärmt wird, so muß Vorsorge getroffen sein, es fortdauernd erneuern zu können.

Einen einfachen Kühlapparat zeigt Fig. 390. Ein weiter Glascylinder cc ist oben und unten mit Korken verschlossen. Durch die Korke geht ein beiderseits offenes (unten gewöhnlich etwas verengtes) Glasrohr ab, in dessen oberes Ende a man das den Dampf zuführende Rohr mit Hülfe eines durchbohrten Korkes oder eines Stückchen Kautschukschlauch luftdicht einsetzt, während man das untere Ende b lose in den Hals einer Flasche steckt, welche zur Aufnahme der verdichteten Flüssigkeit bestimmt ist. Durch das bis in den unteren Theil von c c hinabreichende Rohr d läßt man langsam Kühlwasser zufließen, welches durch das seitlich angesetzte Rohr e abfließt, nachdem es sich erwärmt hat.

Der obere Kork des Kühlapparates braucht nicht dicht zu schließen, da er nur den Zweck hat, die Röhren a b und d in ihrer Lage zu halten. Dagegen muß der untere Kork ganz fest schließen, damit er kein Wasser durchläßt, welches an dem Rohr b herunterlaufen und die destillirte Flüssigkeit verunreinigen würde. Das seitliche Rohr e bringt man ganz so an, wie an dem Apparate Fig. 40 (S. 34 und 35).

Man spannt entweder den dünnen Theil des Kühlapparates in einen Retortenhalter ein oder schiebt ihn durch den Ring eines Trichterhalters, so daß der dickere Theil des Glascylinders auf diesem Ringe ruht. Das Rohr d verbindet man durch

ein Stückchen Kautschukschlauch mit einem Heber, der in ein höher stehendes, großes Gefäß mit Wasser gehängt ist oder mit der Wasserleitung, wenn man eine solche hat. Zur Regulirung des Wasserzuflusses dient der Hahn der Wasserleitung oder bei Anwendung eines gewöhnliches Hebers ein auf den Kautschukschlauch gesetzter Schraubenquetschhahn. Aus e kann das Wasser ziemlich warm ablaufen; man braucht es nur so geschwind fließen zu lassen, daß der untere Theil von c c immer kühl bleibt. Die zu destillirende Flüssigkeit kommt in eine Retorte oder eine Kochflasche; ein ein- oder zweimal rechtwinklig gebogenes Glasrohr dient zur Verbindung des Kochgefäßes mit dem Kühler. In den Hals der Retorte oder Kochflasche wird das Rohr mittelst eines Korkes eingepaßt; zum Einsetzen in a müßte der Kork sehr dünnwandig werden, man schiebt darum besser auf das einzusetzende Glasrohr ein kurzes Stück Kautschukschlauch und setzt dieses in a ein. Hat man eine enghalsige Retorte, so kann man auch ein 15^{cm} langes Stück reinen, weiten Kautschukschlauches unmittelbar über diesen und über a schieben, und so die Verbindung herstellen. Das Rohrende b darf in dem Hals der untergesetzten Flasche nur lose stecken, nicht schließen, damit die anfänglich in der Retorte oder Kochflasche befindliche Luft entweichen kann und im Falle ungenügender Verdichtung nicht etwa der Dampf den Apparat zersprengt.

Das Sieden lasse man nicht zu lebhaft werden, damit nicht Tropfen von unverflüchtigter Flüssigkeit mit übergerissen werden.

Um deutlich zu sehen, daß starre Körper in dem Siedegefäß zurückbleiben, benutze man zur Destillation Wasser, das man durch eine Spur Fuchsin roth gefärbt und mit einer Messerspitze Kochsalz versetzt hat. Das überdestillirte Wasser ist farb- und geschmacklos. Man destillire nicht mehr als die Hälfte der Flüssigkeit ab, weil das Siedegefäß leicht springt, wenn es nicht mehr viel Flüssigkeit enthält.

Das Fuchsin setzt sich gewöhnlich zum Theil an das Glas der Retorte oder Kochflasche fest; man entfernt es durch Ausschwenken des Gefäßes mit ein paar Cubiccentimeter Salzsäure.

Wie jeder gasige Körper hat auch der Dampf das Bestreben sich auszudehnen und übt deshalb auf die Umgebung einen Druck aus. Beim Siedepunkt ist dieser Druck gerade so groß, wie der der atmosphärischen Luft, bei niedrigerer Temperatur ist er kleiner, bei höherer größer. In einem offenen Gefäße läßt sich eine Flüssigkeit nicht über den Siedepunkt erhitzen; alle Wärme, die man der siedenden Flüssigkeit zuführt, wird zur Dampfbildung verbraucht. Will man Wasser weiter erhitzen, als bis 100°, so muß man es in ein Gefäß luftdicht einschließen, so daß kein Dampf entweichen kann. Je höher die Temperatur steigt, um so größer wird der Druck des Dampfes; wenn das Gefäß nicht außerordentlich fest ist, so wird es bald unter lebhaftem Knall zertrümmert.

Man darf einen derartigen Versuch nur mit einem ganz kleinen, dünnwandigen Gefäße anstellen, wenn er gefahrlos sein soll; größere, dickwandige Gefäße richten die bedenklichsten Zerstörungen an, wenn sie durch den Dampf zersprengt werden. Man bekommt im Handel für das Zersprengen bestimmte kleine Glasgefäße, sogenannte Knallkugeln, Fig. 391, welche gleich mit Wasser gefüllt und zugeschmolzen sind.

Man darf dieselben nicht frei erhitzen, um nicht von den herumgeschleuderten Glassplittern verletzt zu werden. Man legt sie in die sogenannte Röhre eines geheizten Kochofens und schließt sofort deren Thüren, die man nicht eher wieder öffnen darf, als bis ein lauter Knall das Zerspringen der Knallkugel angezeigt hat. Sollte die Kugel wegen ungenügender Hitze nicht zerspringen, so muß man den Ofen kalt werden lassen, ehe man die Thüren öffnen und die Kugel herausnehmen darf, wenn man sich nicht der Gefahr einer Verletzung aussetzen will.

Im Großen benutzt man den Druck des Dampfes von über 100° erhitztem Wasser zum Betriebe der Dampfmaschinen, von deren näherer Betrachtung hier abgesehen werden soll.

Wird Wasser erhitzt in einem Gefäße, das nur eine enge Ausströmungs-

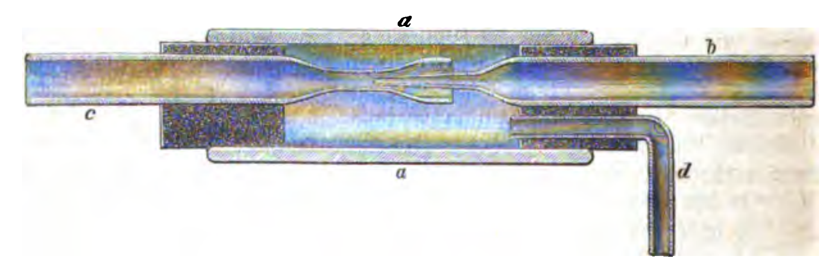
öffnung hat, so daß der Dampf nicht in beliebiger Menge ungehindert entweichen kann, so steigt die Temperatur auch über 100°, der Druck des Dampfes wird größer, als der der atmosphärischen Luft und der Dampf fährt mit großer Gewalt aus der Oeffnung heraus. Ein solcher Dampfstrahl läßt sich sehr schön benutzen, um Reactions- und Saugerscheinungen hervorzubringen.

Man erhält im Handel kleine Dampfreactionsräder von folgender Einrichtung: Eine hohle Glaskugel ist an zwei einander gerade gegenüberstehenden Punkten versehen mit Röhren, welche durch zwei durch eine Art von Gabel verbundene Ringe hindurchgehen und eine Axe bilden, um die sich die Kugel drehen kann. Außerhalb der als Lager für die Axe dienenden Ringe sind die Röhren rechtwinkelig nach entgegengesetzten Seiten umgebogen. Diese umgebogenen Theile bilden die Arme des Reactionsrades; sie sind am Ende nochmals kurz rechtwinklig umgebogen, wie die in den Kork eingesetzten Röhren Fig. 144. Man taucht das Ende des einen Rohres in Wasser, saugt an dem anderen Rohre so lange, bis die Kugel fast halb voll Wasser ist, hält dann mittelst der Gabel, welche die Kugel trägt, diese so über eine kleine Flamme, daß ihre Drehungsaxe wagrecht liegt und bewegt die Kugel gelinde, damit sie nicht springt; sobald das Wasser lebhaft siedet und zwei kräftige Dampfstrahlen aus den Mündungen der Röhren austreten, beginnt die Vorrichtung sehr rasch umzulaufen.

Fig. 391.

nat. Gr.

Fig. 392.



nat. Gr.

Die Gabel mit den Ringen, in welchen die Axe läuft, ist manchmal aus Glas, besser aber aus starkem Messingdraht gemacht. In Messingdrahtringen läuft das Glas mit sehr geringer Reibung, während Glas in Glas sich matt schleift und dann eine sehr starke Reibung veranlaßt.

Eine Retorte oder Kochflasche wird zwei Drittel voll Wasser gemacht, der Hals mit einem Kork, durch den ein Glasrohr geht, verschlossen und an das Glasrohr ein Kautschukschlauch gesteckt. Schiebt man das andere Ende dieses Schlauches auf das wagrechte Rohr der Vorrichtung Fig. 205 und erhitzt das Wasser zum lebhaften Sieden, so erhält man eine sehr kräftige Saugwirkung und Zerstäubung.

Noch schöner ist die Saugwirkung bei der sogenannten Dampfstrahlpumpe (die unter dem Namen Injector vielfach zur Kesselspeisung bei Dampfmaschinen verwendet wird). Eine kleine Dampfstrahlpumpe aus Glas, die man leicht selbst machen kann, zeigt Fig. 392. Der Dampf strömt aus

der engen Oeffnung des Rohres b in dem verengten Theil von c, welcher aber immer noch weiter ist, als die Mündung von b, so daß der Dampf sich ausbreiten und verdünnen kann. Er tritt durch c in die Luft aus und mit ihm entweicht die Luft aus dem weiten Rohre a a, indem diese nach der vor der Ausströmungsmündung von b befindlichen Stelle strömt, an welcher die Verdünnung stattfindet, um dann von dem Dampfe mit fortgerissen zu werden. So entsteht nun in a a ein verdünnter Raum, also eine Abnahme des Luftdrucks und wenn das Rohr d in ein Gefäß mit Wasser taucht, so treibt der äußere Luftdruck dieses Wasser nach a a. Nach und nach entweicht immer mehr Luft aus a a, indem sich dieses mit Wasser anfüllt und schließlich wird auch das Wasser von dem Dampfe mit fortgerissen. Sobald dies geschieht, wird die Saugwirkung noch kräftiger, weil jetzt der ausströmende Dampf durch das kalte Wasser in tropfbares Wasser verwandelt wird, das einen viel kleineren Raum einnimmt, als der Dampf, so daß vor der Mündung von b ein beinahe ganz leerer Raum entsteht. Beim Einströmen in den engen Zwischenraum zwischen b und c erlangt das Wasser eine solche Geschwindigkeit, daß es in Folge seines Beharrungsvermögens weiter fährt und aus c als voller Strahl ausfließt. Setzt man, nachdem das Ausfließen ordentlich lebhaft geworden ist, an c mit Hülfe eines Stückchens Kautschukschlauch ein kurzes Glasrohr an, welches rechtwinklig nach oben gebogen und an seinem oberen Ende in eine Spitze ausgezogen ist, so wird das Wasser aus dieser Spitze in einem kräftig springendem Strahle herausgetrieben.

Die Vorrichtung 205 ist sehr leicht durch Dampf in Gang in setzen. Auch die Herstellung der Dampfstrahlpumpe ist nicht besonders schwierig, nur achte man darauf, den verengten Theilen von b und c genau die in der Figur angegebenen Dimensionen zu geben, wenn man der Wirkung sicher sein will. Jeder Schenkel des an c anzusetzenden Springrohres sei etwa 3^{cm} lang und eben so weit wie c; die Spitze des aufwärts gerichteten Schenkels soll eben so weit oder wenig enger sein, als die Ausströmungsmündung von b. An d kann ein 10 bis 15^{cm} langes Saugrohr mit Kautschukschlauch angesetzt werden.

Der zur Verbindung des Dampfausströmungsrohres mit der Retorte oder Kochflasche dienende Kautschukschlauch muß streng auf die Glasröhren passen, damit er schließt, ohne festgebunden zu werden. Festbinden darf man ihn nicht, damit er bei zu groß werdendem Dampfdruck von den Glasröhren abgleitet und nicht ein Zerreißen des Schlauches oder ein Springen des Glasgefäßes stattfinden kann.

Man mißt den Druck (die Spannkraft), welchen der Dampf ausübt, wie den Luftdruck durch die Höhe einer Quecksilbersäule, die er zu tragen vermag, die Höhe dieser Säule ist

bei	0°	$4^{mm},6$	bei 80°	$354^{mm},6$
	10°	$9^{mm},2$	90°	$525^{mm},4$
	20°	$17^{mm},4$	100°	$760^{mm},0$
	30°	$31^{mm},5$	110°	1075^{mm}
	40°	$54^{mm},9$	120°	1491^{mm}
	60°	$92^{mm},0$	130°	2030^{mm}
	60°	$148^{mm},8$	140°	2718^{mm}
	70°	$233^{mm},1$	150°	3581^{mm}.

Die Größe des Dampfdrucks bei Temperaturen über 100° drückt man oft auch so aus, daß man angiebt, wieviel mal so groß dieser ist, als der normale Druck der atmosphärischen Luft; man nimmt also den letzteren Druck

als Einheit und nennt ihn wol auch kurzweg „eine Atmosphäre". Der Dampfdruck ist

bei	100°	1 Atmosphäre
	120°,6	2 Atmosphären
	133°,9	3 Atmosphären
	144°,0	4 Atmosphären
	152°,2	5 Atmosphären
	159°,6	6 Atmosphären
	165°,4	7 Atmosphären
	170°,8	8 Atmosphären
	175°,8	9 Atmosphären
	180°,3	10 Atmosphären.

Davon, daß bei einer Temperatur, welche niedriger ist, als der Siedepunkt, die Spannkraft des Dampfes kleiner ist, als der Druck der Atmosphäre, kann man sich leicht auf folgende Weise überzeugen: Man erhitzt eine halb mit Wasser gefüllte Retorte, in deren schwach abwärts gerichteten Hals man mittelst eines Korkes ein 10^{cm} langes, 5^{mm} weites Glasrohr eingesetzt hat, das einige Centimeter tief in eine geräumige, mit Wasser gefüllte Schüssel taucht, solange bis aus der Mündung des Rohres keine Blasen mehr aufsteigen, sondern der Dampf unter lebhaftem Geräusche von dem kalten Wasser verdichtet wird und entfernt dann die Lampe von der Retorte; sowie die Temperatur sinkt treibt der äußere Luftdruck das Wasser in dem Rohre aufwärts, anfangs langsam, allmählig aber immer schneller, weil der Dampf durch die Berührung mit dem in den Hals und schließlich in den Bauch der Retorte eintretenden Wasser rasch abgekühlt wird. Zuletzt stürzt das Wasser mit großer Gewalt in die Retorte und füllt dieselbe fast ganz aus.

Wenn das in der Schüssel befindliche Wasser vorher durch Auskochen völlig von Luft befreit worden ist und man aus der Retorte durch anhaltendes Kochen alle Luft austreibt, so füllt sie sich ganz vollkommen mit Wasser an.

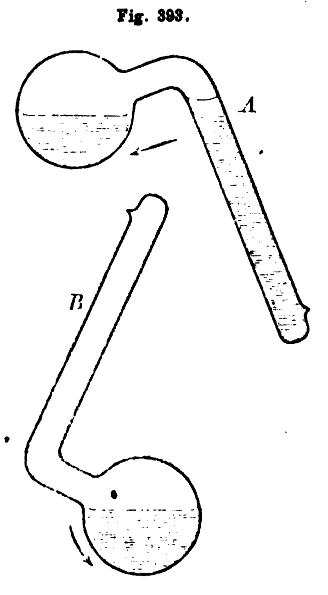
Das laute Geräusch, welches beim Austritt des luftfreien Dampfes in kaltes Wasser entsteht, hat seinen Grund darin, daß der Dampf der austretenden Blasen durch das Wasser sehr schnell abgekühlt und verdichtet wird und an seiner Stelle also ein leerer Raum entsteht; der äußere Luftdruck treibt das Wasser von allen Seiten mit großer Gewalt in diesen leeren Raum hinein und das Zusammenschlagen des Wassers erzeugt das Geräusch, welches wie das Zusammenschlagen harter Körper klingt, weil das Wasser sehr wenig zusammendrückbar ist.

Das Austreiben der Luft durch Wasserdampf und nachherige Abkühlen des Dampfes ist ein sehr einfaches Mittel, einen luftleeren Raum herzustellen. Schiebt man auf das an den Retortenhals angesetzte Rohr, anstatt es in Wasser eintauchen zu lassen, einen Kautschukschlauch, erhält das Wasser einige Minuten im lebhaften Sieden, um alle Luft auszutreiben, verschließt dann den Schlauch durch einen Quetschhahn und entfernt sofort die Lampe, so erhält man einen luftleeren Raum, der zunächst mit Dampf von eben so großem Druck gefüllt ist, wie ihn die atmosphärische Luft besitzt; mit abnehmender Temperatur wird dieser Druck kleiner und schließlich hat man nur noch ganz dünnen Dampf von ganz geringem Druck in der Retorte.

In ähnlicher Weise ist auch der oben erwähnte Wasserhammer luftleer gemacht; am Ende des geraden Rohres bemerkt man eine kleine, stumpfe

Spitze; diese ist der Rest eines dünnen Rohres, durch welche man die Luft ausgetrieben und das man nachher zusammengeschmolzen hat. Läßt man das Wasser an die Wände des Wasserhammers oder einen Theil des Wassers gegen das übrige Wasser anschlagen, so entsteht ein eben so harter Ton, als beim Verdichten des Dampfes im Wasser; wer den Ton zum ersten Male hört, glaubt gewöhnlich, das Gefäß müsse entzwei gehen. Am schönsten bekommt man den harten Ton, wenn man den Hammer in der Fig. 393 A gezeichneten Lage hält und dann schnell in der Richtung des Pfeiles vorwärts bewegt oder wenn man ihn zwischen Daumen und Mittelfinger der Rechten an entgegengesetzten Punkten der Kugel faßt, während man mit der Linken den Wasserhammer in der Lage Fig. 393 B hält und ihn dann mit der Linken losläßt, so daß er sich um den Mittelpunkt der Kugel in der Richtung des Pfeiles dreht. Im ersten Falle schlägt das in der Kugel befindliche Wasser gegen das im Rohre befindliche, im zweiten Falle stürzt das Wasser aus der Kugel in das Rohr und schlägt auf den Boden desselben auf.

Fig. 393.



¼ nat. Gr.

Wir haben gesehen, daß beim Siedepunkt die Spannkraft des Dampfes gerade gleich dem Druck der Luft ist; richtiger noch ist, umgekehrt zu sagen, daß der Siedepunkt diejenige Temperatur ist, bei welcher der Dampf einer Flüssigkeit denselben Druck besitzt, wie die umgebende Luft. Solange der Dampfdruck kleiner ist, kann er die Luft nicht bei Seite schieben, er kann sich nur durch Diffusion darin ausbreiten; ist aber der Druck gleich dem der Luft, so kann er die Luft verdrängen und sich ungehindert ausbreiten.

Ist der Luftdruck kleiner, als gewöhnlich, so braucht auch der Dampfdruck weniger groß zu sein, als 760^{mm}, die Flüssigkeit braucht also weniger warm zu sein, um zu sieden. Durch künstliche Verkleinerung des Luftdrucks kann man schon bei ganz niedriger Temperatur das Sieden hervorrufen. Stellt man ein zur Hälfte mit Wasser von 40 bis 50° gefülltes Kochfläschchen unter die Glocke der Luftpumpe und pumpt aus, so kommt nach einiger Zeit das Wasser in lebhaft wallendes Sieden.

Ohne Luftpumpe kann man das Sieden bei niedrigerer Temperatur, als 100°, bewirken, wenn man eine Retorte in der oben angegebenen Weise luftleer kocht und sofort nach dem Verschließen den Hals in einen großen Topf mit Wasser taucht. Die Abkühlung des Halses bewirkt eine rasche Verdichtung des Dampfes, diese eine Abnahme des Drucks in der Retorte und infolge dieser Druckverminderung kommt das noch warme Wasser in lebhaftes Sieden.

Der Wasserhammer ist sehr bequem, um das Sieden bei ganz niedriger Temperatur zu zeigen. Man hält ihn in der Lage Fig. 394 und umfaßt das Rohr mit beiden Händen; die geringe Erwärmung durch die Hände reicht aus, das an den Rohrwänden hängende Wasser in lebhafte Ver-

dampfung zu bringen. Der gebildete Dampf geht in Blasen durch das Wasser hindurch; durch die niedrige Temperatur des Wassers wird er wieder verdichtet.

In der folgenden kleinen Tabelle sind die Temperaturen angegeben, bei welchen einige Stoffe sieden, wenn den Luftdruck 760^{mm} beträgt:

Quecksilber	350°,	Weingeist	78°,4,
Schwefelsäure	325°,	Aether	34°,9,
Schwefel	316°,	Schweflige Säure	—10°,8.

Apparate, welche ähnlich eingerichtet sind, wie unser Wasserhammer, aber Weingeist und Aether enthalten, zeigen ein noch viel lebhafteres Sieden, als der Wasserhammer, weil die Dämpfe dieser Flüssigkeiten bei der nämlichen Temperatur einen beträchtlich größeren Druck ausüben, als der Wasserdampf.

Fig. 394.

¼ nat. Gr.

Eine eigenthümliche Verdampfungserscheinung zeigt sich, wenn man eine kleine Flüssigkeitsmenge auf eine Unterlage bringt, welche viel heißer ist, als der Siedepunkt der Flüssigkeit. Man erhitzt ein kleines Schälchen von Platin oder Kupfer bis zum Glühen und bringt mit der Spritzflasche einige Tropfen Wasser darauf, Fig. 395; das Wasser zischt nicht, wie wenn man es auf einen mäßig heißen Körper bringt, sondern liegt rund wie ein Quecksilbertropfen auf der Unterlage. Ist die Wassermenge klein, so bleibt sie rund und ziemlich ruhig; hat sie mehr als 1^{cm} Durchmesser, so nimmt sie eine sternartige Form an und geräth in lebhaft zitternde Bewegung.

Man nennt diesen Versuch den Leidenfrost'schen, bezeichnet auch wol den Zustand der Flüssigkeit als sphäroïdalen Zustand. Die heiße Unterlage bewirkt eine lebhafte Dampfbildung an der Oberfläche der Flüssigkeitstropfen, sobald sich diese dem glühenden Metall nähern; der rasch sich entwickelnde Dampf trägt die Flüssigkeit und läßt sie nicht mit der Unterlage in Berührung kommen; die Flüssigkeit wird deshalb weniger stark erwärmt und verdampft nicht so schnell, als man nach der hohen Temperatur des Schälchens erwarten sollte.

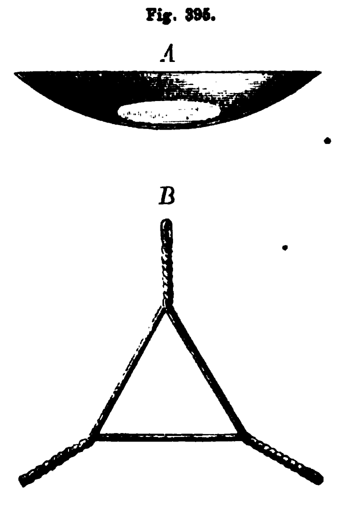
Ein Kupferschälchen bedeckt sich beim Glühen mit Kupferhammerschlag und muß deshalb bei einer Wiederholung des Versuches (wenigstens auf der Innenseite) mit Smirgel wieder blank geputzt werden; ein Platinschälchen hat diesen Uebelstand nicht, ist aber zu theuer, als daß man es für diesen einzelnen Versuch anschaffen sollte. Das Schälchen stellt man auf ein aus Eisendraht in der aus Fig. 395 B erkennbaren Weise zusammengedrehtes Dreieck, das man auf den Ring des Kochgestelles legt und erhitzt dann mit der Weingeist- oder Gaslampe. Das Wasser bringt man erst auf, nachdem das Schälchen völlig glühend geworden ist und zwar nur tropfenweise und überhaupt nicht in zu großer Menge.

Entfernt man die Lampe, nachdem man den sphäroïdalen Zustand des Wassers genügend beobachtet hat, so kühlt sich das Schälchen ab und das Wasser kommt damit in Berührung; sobald diese Berührung eintritt, wird dem Wasser schnell Wärme zugeführt und das Sieden tritt mit großer Lebhaftigkeit ein.

Wenn eine Flüssigkeit, besonders eine luftfreie, langsam erhitzt wird, so geschieht es zuweilen, daß sie sich bis über den Siedepunkt erwärmt, ohne zu

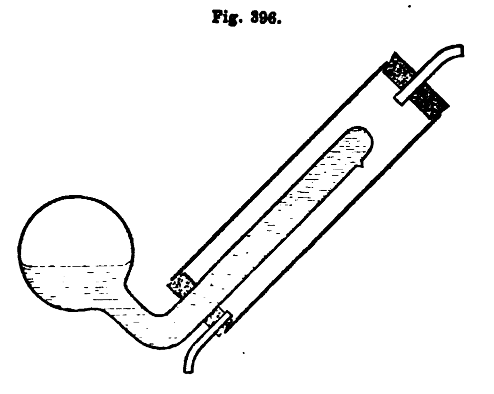
sieden. Diese Erscheinung nennt man den Siedeverzug. In einem offenen Gefäße ist dieser Siedeverzug nicht leicht hervorzubringen und nicht ungefährlich, weil das Sieden, wenn es schließlich doch eintritt, gewaltsam und leicht unter Zertrümmerung des Gefäßes vor sich geht. Dagegen läßt sich der Siedeverzug im Wasserhammer leicht und ganz gefahrlos hervorbringen. Man hält den Wasserhammer zunächst so, daß das Rohr wagrecht liegt und die Kugel nach oben gerichtet ist und klopft in dieser Lage wiederholt mäßig stark mit dem Ende des Rohres gegen die Seite des Tisches, den Thürstock oder ein anderes festes Holzstück. Anfangs entsteht bei dem Klopfen ein lebhaft klirrendes Geräusch, indem das Wasser unter Bildung einiger Blasen von der elastischen Glaswand zurückgeworfen wird; bald aber giebt das Anschlagen einen eben so dumpfen Ton, wie wenn man mit einem leeren Glase an das Holz schlüge; sobald dies der Fall ist, ist das Wasser geeignet, den Siedeverzug zu zeigen. Man richtet jetzt den Wasserhammer soweit auf, daß er in die Lage kommt, welche Fig. 396 zeigt, hütet sich aber dabei, keine Dampfblase in das Rohr kommen zu lassen. Sobald nämlich einmal eine geringe Dampfmenge in das Rohr kommt, sinkt das Wasser soweit, wie in Fig. 397. Erwärmt man nun das Rohr mit den Händen, so tritt keine Dampfbildung ein; man kann sogar mit der Lampe das Rohr ziemlich stark erwärmen, ohne daß ein Sieden stattfindet. Erst bei starkem Erwärmen beginnt das Sieden, dann aber so heftig, daß das Wasser in lebhafteste Bewegung kommt; der erste Anfang des Siedens bewirkt einen ziemlich merklichen Stoß.

Fig. 395.



A nat. Gr., B 1/2 nat. Gr.

Fig. 396.



1/4 nat. Gr.

Das Erwärmen bis zum Aufhören des Siedeverzugs bewirkt man besser als durch die Lampe durch Wasserdampf; man setzt den Wasserhammer so, wie Fig. 396 zeigt, in einen Lampencylinder mit Hülfe zweier Korke ein, durch die kurze Glasröhren hindurchgehen. An die obere Röhre steckt man einen nach einer Retorte oder Kochflasche mit Wasser führenden Kautschukschlauch, das untere Rohr dient zum Entweichen des Dampfes. Die Biegung des Rohres vom Wasserhammer wird in einem Retortenhalter geklemmt und dann das Wasser in der Retorte oder Kochflasche zum Sieden erhitzt — erst wenn der Dampf das Rohr des Wasserhammers ziemlich stark erwärmt hat, beginnt plötzlich das Sie-

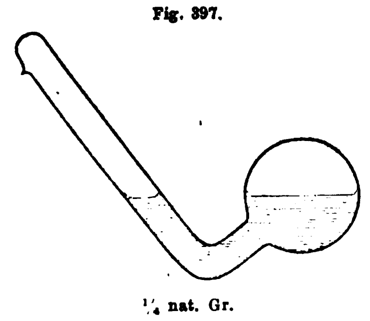
den, während unter gewöhnlichen Umständen schon die geringe Wärme der Hand ausreicht, um bei dem geringen Drucke, der im Wasserhammer herrscht, das Sieden zu bewirken.

Der untere der beiden Korke muß vom Rande herein bis zu dem für das Rohr des Wasserhammers bestimmten Loche einen Schnitt bekommen, damit man ihn etwas auseinander biegen kann, um die seitlich vorstehende Spitze des Rohres durchschieben zu können.

Bei dem geringen Druck im Wasserhammer ist der Siedepunkt des Wassers sehr niedrig, so daß auch bei einer niedrigen Temperatur ein Siedeverzug stattfinden kann; in ähnlicher Weise treten bei höherem Druck Siedeverzüge unter günstigen Umständen auch bei höherer Temperatur ein.

Hält man den Wasserhammer so, wie Fig. 397 zeigt und neigt abwechselnd das Rohr oder die Kugel ein wenig abwärts, so fließt das Wasser hin und her, so daß es immer auf beiden Seiten gleich hoch steht. Es bleibt also auf beiden Seiten der Druck des Dampfes immer gleich groß, wenn auch das Volumen des Dampfes vergrößert und verkleinert wird, wenn nur die Temperatur des Dampfes die nämliche bleibt. Dieses Verhalten zeigt aber der Dampf nur, wenn er frei von Luft ist und noch Flüssigkeit gegenwärtig ist. In einem luftfreien Raume bildet sich aus einer Flüssigkeit immer sofort soviel Dampf, als bei der herrschenden Temperatur bestehen kann; ein solcher Raum sättigt sich augenblicklich mit Dampf. Wird der Raum verkleinert, so verdichtet sich soviel Dampf, als der Volumenabnahme entspricht; wird der Raum vergrößert, so bildet sich aus der Flüssigkeit sofort eine entsprechende Dampfmenge.

Fig. 397.



¼ nat. Gr.

In einem Raume, welcher Luft enthält, vermag sich eben so viel Dampf zu bilden, wie in einem gleich großen, gleich warmen, luftleeren Raume; die Dampfbildung geht aber viel langsamer vor sich; während ein luftleerer Raum sich augenblicklich mit Dampf sättigt, wenn Flüssigkeit genug vorhanden ist, kann es bei einem lufthaltigen Raume Stunden lang dauern, ehe er mit Dampf gesättigt wird.

Ganz anders, als der im Wasserhammer enthaltene, gesättigte Dampf verhält sich Dampf, von dem in einem Raume weniger vorhanden ist, als der Raum bei der herrschenden Temperatur enthalten könnte und dessen Spannkraft und specifisches Gewicht also kleiner sind, als sie bei der herrschenden Temperatur sein könnten. Solchen Dampf nennt man ungesättigt (oder auch überhitzt, weil seine Temperatur höher ist, als zur Erhaltung der vorhandenen Dampfmenge und des vorhandenen Dampfdrucks nöthig wäre).

Ungesättigter Dampf zeigt dasselbe Verhalten, wie ein gewöhnliches Gas; seine Spannkraft nimmt zu, wenn man ihn zusammendrückt und nimmt ab, wenn man den Dampf sich ausdehnen läßt — er folgt dem Mariotte'schen Gesetze. Man nimmt an, daß die gewöhnlichen Gase nichts anderes sind, als ungesättigte Dämpfe, nämlich Dämpfe von Flüssigkeiten, deren Siedepunkt

niedriger ist, als die gewöhnliche Lufttemperatur.[94] Wenn man einen ungesättigten Dampf mehr und mehr zusammendrückt, so geht er schließlich in gesättigten Dampf und bei noch weiterem Zusammendrücken in tropfbare Flüssigkeit über; dasselbe läßt sich auch durch genügend starke Abkühlung erreichen.

Die meisten Gase lassen sich nun in der That durch starke Zusammenpressung oder durch sehr starke Abkühlung oder durch beides zugleich in tropfbare Flüssigkeit verwandeln; diejenigen Gase, bei denen diese Verdichtung wirklich gelungen ist, nennt man coërcible, diejenigen, welche man noch nicht hat zu tropfbaren Flüssigkeiten verdichten können, permanente Gase. Von den bekannteren Gasen sind zur Zeit noch permanent der Sauerstoff, der Stickstoff und der Wasserstoff; wahrscheinlich aber wird man auch diese tropfbar machen können, wenn man noch stärkeren Druck und größere Kälte erzeugen lernt, als man jetzt anwenden kann.

Ammoniak, Kohlensäure und schweflige Säure sind coërcible Gase; am leichtesten läßt sich die schweflige Säure verdichten, deren Siedepunkt, wie oben erwähnt, bei $-10°,8$ liegt. Man kommt bei der schwefligen Säure schon durch blose Abkühlung zum Ziele, während Ammoniak und Kohlensäure zugleich die Anwendung eines starken Druckes erfordern.

Versuche über Verdichtung von Gasen dürfen nur von geübten Arbeitern und mit sehr gut gearbeiteten Apparaten angestellt werden; weil die durch die Verdichtung entstehenden Flüssigkeiten bei gewöhnlicher Temperatur Dampf von ungeheurem Druck entwickeln (Kohlensäure z. B. solchen von 50 bis 60 Atmosphären), der die angewendeten Gefäße mit den fürchterlichsten Explosionen zertrümmern kann.

57. **Fortpflanzung der Wärme, Strahlung und Leitung.** Von einem warmen nach einem kälteren Körper kann die Wärme auf zweierlei Weise übergehen, entweder durch Strahlen, welche von einem warmen Körper, wie die Lichtstrahlen von einem leuchtenden Körper, nach allen Seiten hin ausgehen oder durch die weiter unten zu besprechende Wärmeleitung. Die Wärmestrahlen verhalten sich ganz ähnlich, wie die Lichtstrahlen, sie haben die nämliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit und unterliegen in ganz gleicher Weise den Gesetzen der Reflexion und Brechung, wie jene. Gewisse Lichtstrahlen, nämlich die rothen, orangen und gelben, sind zugleich Wärmestrahlen, außerdem giebt es aber noch viele Wärmestrahlen, welche auf das Auge keine Wirkung äußern, also unsichtbar sind. Diese unsichtbaren, also dunklen Wärmestrahlen sind weniger brechbar, als die rothen Licht- und Wärmestrahlen.[95] Die gewöhnlichen, warmen Körper senden blos dunkle Wärmestrahlen aus; leuchtende Wärmestrahlen (also rothe, orange und gelbe) geben nur die glühenden Körper, aber auch diese entwickeln gleichzeitig noch viel mehr dunkle, als leuchtende Wärmestrahlen.

[94] Da ungesättigte Dämpfe solche sind, deren Druck kleiner ist, als er bei der herrschenden Temperatur sein könnte, so müssen die Flüssigkeiten, deren ungesättigte Dämpfe die Gase sein sollen, bei der gewöhnlichen Lufttemperatur Dampf von größerem Drucke entwickeln können, als der thatsächlich vorhandene Druck, also der Atmosphärendruck ist. Sie müßten also schon bei niedrigerer Temperatur einen Druck von 760^{mm} entwickeln können, d. h. diese Flüssigkeiten müßten schon bei niedrigerer Temperatur sieden.

[95] Mit Hülfe besonderer Spectralapparate kann man die verschiedene Brechbarkeit der Wärmestrahlen nachweisen, es gehören aber dazu auch Apparate zur Nachweisung der Wärme, welche viel empfindlicher sind, als gewöhnliche Thermometer; hier können nur die allereinfachsten Ergebnisse der mit solchen Vorrichtungen angestellten Untersuchungen kurze Erwähnung finden.

Die Sonne sendet unendliche Massen von Licht- und Wärmestrahlen aus; die größte Menge der Sonnenwärme ist aber auch nicht in den sichtbaren, sondern in den gleichzeitig ausgesandten dunklen Wärmestrahlen enthalten. In dem Raume des kleinen Sonnenbildchens, welches ein Concavspiegel oder eine Convexlinse erzeugt, wird die ganze Wärme der vom Spiegel reflectirten oder der durch die Linse gehenden Strahlen vereinigt; wenn der Spiegel oder die Linse nur einigermaßen groß sind, wird die Wärme im Brennpunkt so groß, daß leicht brennbare Körper, wie Feuerschwamm und dergleichen sich da entzünden — daher auch die Bezeichnungen „Brennpunkt, Brennspiegel, Brennglas". Ein Concavspiegel oder eine Concavlinse von 6 cm Durchmesser und 26 bis 30 cm Brennweite geben Hitze genug, um Feuerschwamm zu entzünden; die gelbe Lunte, welche man vielfach in Taschenfeuerzeugen findet, läßt sich, wenn sie vorher einmal angezündet und durch Drücken zwischen kalten Körpern wieder ausgelöscht, also schwarz gekohlt worden ist, bei hellem Sonnenschein selbst durch eine Convexlinse von 2 cm Durchmesser und 5 cm Brennweite entzünden. Mit Hülfe sehr großer Brennspiegel (man hat deren von etwa 1 m Durchmesser dargestellt) vermag man eine außerordentliche Hitze zu erzeugen, durch die man die schwerstschmelzbaren Stoffe schmelzen und die schwerstverbrennlichen verbrennen kann.

So wie die Lichtstrahlen nur durch gewisse Körper — die durchsichtigen — hindurchgehen können, so vermögen auch die Wärmestrahlen nur durch gewisse Körper hindurchzugehen. Die Körper, welche die Wärmestrahlen durchlassen, nennt man durchwärmig oder diatherman, diejenigen, welche sie nicht durchlassen undurchwärmig oder adiatherman (auch wol kürzer atherman). Nicht alle völlig durchsichtigen Körper sind auch vollkommen durchwärmig; farbloses Glas und Wasser lassen die sichtbaren Lichtstrahlen sämmtlich durch, Glas aber nur die sichtbaren und einen Theil der dunkeln, Wasser sogar nur die sichtbaren Wärmestrahlen.[96]

In hohem Grade durchwärmig ist die atmosphärische Luft; die Sonnenstrahlen durchlaufen die Luft ungehindert und ohne sie zu erwärmen. Könnte die Luft die Wärmestrahlen der Sonne verschlucken und sich dadurch erwärmen, so müßte sie da am wärmsten sein, wo sie zuerst von den noch ungeschwächten Sonnenstrahlen getroffen wird, also in der Höhe. Die Beobachtung der Lufttemperatur in verschiedener Höhe über der Erdoberfläche zeigt aber, daß die Luft in der Nähe der Erde am wärmsten ist und nach oben hin immer kälter wird; die Luft wird also nicht von den Sonnenstrahlen unmittelbar erwärmt, sondern von der durch die Sonnenstrahlen erwärmten Erde.

Diejenigen Körper, welche die Wärmestrahlen nicht durch sich durchlassen, verschlucken (absorbiren) sie zum Theil, zum Theil werfen sie dieselben zurück. Aus der Aehnlichkeit zwischen Wärmestrahlen und Lichtstrahlen läßt sich schon vermuthen, daß die glatten, hellen und glänzenden Körper die Wärmestrahlen vorzugsweise zurückwerfen, die dunklen und rauhen Körper sie vorzugsweise verschlucken werden.

In der That werfen denn auch polirte Metalle den größten Theil der auf sie fallenden Wärmestrahlen zurück, während der schwärzeste bekannte

---

[96] Unter allen starren Körpern scheint nur das Steinsalz alle Arten von Wärmestrahlen ungehindert durchzulassen; dagegen giebt es auch undurchsichtige Stoffe, welche dunkle Wärmestrahlen durchlassen, zu diesen gehört z. B. das schwarze Glas.

Körper, der Ruß die Wärmestrahlen ebenso vollständig verschluckt, wie die Lichtstrahlen.

Ein Stück blankes Stanniol, das man in den Brennpunkt der auf ein Brennglas fallenden Sonnenstrahlen bringt, schmilzt entweder gar nicht oder nur schwer; dagegen wird ein durch Ruß geschwärztes Stanniolblatt im Brennpunkte sofort durchgeschmolzen. Das käufliche Stanniol ist auf seinen beiden Seiten verschieden glänzend; man benutze die glänzende Seite zur Zurückwerfung der Strahlen und beruße die weniger glänzende, indem man sie über die Flamme eines in Terpentinöl oder Petroleum getauchten und dann angezündeten Spähnchens hält. Damit das Stanniol beim Berußen nicht durch die Wärme der Flamme geschmolzen wird, wickelt man es um ein dickes Metallstück oder um eine kleine Flasche, die mit Wasser gefüllt ist.

Ein kleines Töpfchen von blankem Weißblech beruße man auf der einen Seite seiner äußeren Wandung durch eine Terpentinöl- oder Petroleumflamme, fülle es mit Wasser, erhitze dieses zum Sieden, nehme dann das Töpfchen vom Feuer und nähere ihm von beiden Seiten die äußeren (empfindlicheren) Flächen der Hände bis auf eine Entfernung von etwa 1^{cm}; man fühlt an der Hand, welche der berußten Fläche gegenüberliegt, die Wärme viel deutlicher, als an der dem blanken Metall gegenüber befindlichen Hand; die berußte Fläche strahlt also mehr Wärme aus, als die glänzende. Aehnliches läßt sich an anderen Körpern nachweisen: diejenigen Körper, welche die Wärmestrahlen am leichtesten verschlucken (das größte Absorptionsvermögen besitzen), strahlen, wenn sie selbst warm sind, die Wärme auch am leichtesten aus (haben das größte Emissionsvermögen); dagegen sind die Körper, welche die meisten Lichtstrahlen zurückwerfen (das größte Reflexionsvermögen besitzen), am wenigsten fähig, Wärme auszustrahlen (sie haben das kleinste Emissionsvermögen).

Ist ein Theil eines Körpers wärmer, als die übrigen Theile desselben, so geht von dem wärmeren Theile Wärme auf den nächstliegenden Theil über, bis dieser eben so warm ist, wie der erste; von dem zweiten Theile geht sie auf den dritten über und so verbreitet sie sich nach und nach gleichmäßig über den ganzen Körper. In der nämlichen Weise geht auch die Wärme von einem Körper auf die Theile eines anderen, weniger warmen Körpers über, welche mit jenem in Berührung sind. Die Fortpflanzungsart der Wärme nennt man Wärmeleitung. Die Wärmeleitung geht in verschiedenen Körpern mit sehr verschiedener Geschwindigkeit vor sich; danach unterscheidet man gute und schlechte Wärmeleiter[97]; aber auch in den besten Wärmeleitern ist die Fortpflanzung der Wärme ein unendlich langsamere, als die Fortpflanzung durch Strahlung.

Unter den starren Körpern leiten am besten die Metalle, aber auch diese noch sehr verschieden gut. Einen 10^{cm} langen, 1 bis 2^{mm} dicken Kupferdraht und einen gleich langen und gleich dicken Eisendraht fasse man mit je einem Ende zwischen Daumen und Zeigefinger der rechten und linken Hand und halte die anderen Enden in die Flamme der Weingeistlampe oder des Bunsen'schen Brenners; man ist bald genöthigt, den Kupferdraht fallen zu lassen, weil er zu heiß wird, während man den Eisendraht lange halten kann. In dem sehr gut leitenden Kupfer verbreitet sich die Wärme schnell von dem erhitzten Theile bis an's andere Ende, in dem weniger gut leitenden Eisen bedeutend langsamer. Ist der Eisendraht dünn, so kann man ihn beliebig

---

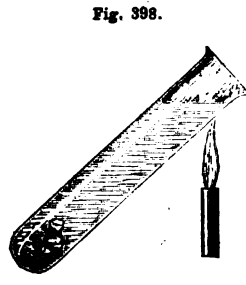
[97] Diejenigen Körper, welche die Elektricität am besten leiten, sind auch die besten Wärmeleiter und umgekehrt.

lange halten; die Wärme pflanzt sich so langsam fort, daß sie durch Abgabe an die umgebende Luft verloren geht, ehe sie an das in der Hand gehaltene Ende des Drahtes kommt.

Silber und Kupfer leiten die Wärme am besten; Blei ist von den gewöhnlichen Metallen der schlechteste Wärmeleiter. Die meisten anderen Mineralien leiten weniger gut, als die Metalle; noch schlechter leitet Glas und am wenigsten gut von allen starren Körpern die aus dem Pflanzen- und Thierreiche herstammenden porösen Stoffe: Holz, Faserstoffe, Pelzwerk, Federn und dergleichen.

Schlechte Wärmeleiter benutzen wir sowol, um Etwas warm zu halten, d. h., um zu verhindern, daß es seine Wärme schnell nach außen abgiebt, als auch, um Etwas kalt zu halten, d. h., um zu verhindern, daß ihm von außen schnell Wärme zugeführt wird — so gebrauchen wir dicke Umhüllungen von schlechten Wärmeleitern (Wollengewebe, Pelz) um unsern Körper im Winter vor zu großem Wärmeverlust zu schützen und umgekehrt Häuser mit doppelten Wänden, deren Zwischenraum mit schlechten Wärmeleitern (Stroh, Asche) ausgefüllt ist, zur Aufbewahrung des Eises, das vor der Wärme der umgebenden Luft zu schützen ist.

Fig. 398.



1/4 nat. Gr.

Die tropfbaren Körper sind mit einziger Ausnahme des tropfbaren Metalles — des Quecksilbers — sämmtlich sehr schlechte Wärmeleiter. Daß sich trotzdem Flüssigkeiten in Gefäßen ziemlich schnell durch die ganze Masse erwärmen, hat seinen Grund in den S. 480 besprochenen Kreislauf, welcher beim Erwärmen der Flüssigkeiten von unten eintritt. Erwärmt man eine Flüssigkeit von oben, so ist zu einem solchen Kreislauf kein Anlaß vorhanden; die warmen Theile schwimmen oben auf, die schwereren, kalten bleiben unten liegen und man kann dann sehen, daß es sehr lange dauert, ehe sich ihnen die Wärme mittheilt. Bringt man bei dem in Fig. 386 dargestellten Versuche ein Stückchen Eis mit in das Probirglas und erwärmt unten nur durch ein ganz schwaches Flämmchen, so ist nach kurzer Zeit und ehe das Wasser merklich warm wird, das Eis geschmolzen, weil das aufsteigende, erwärmte Wasser immer seine Wärme an das Eis abgiebt. Bringt man dagegen in das Probirglas ein Eisstück, das durch Umwickeln mit Draht soweit beschwert ist, daß es im Wasser untersinkt, und erwärmt den oberen Theil des Glases, Fig. 398, so erhitzt sich das Wasser oben bald bis zum Kochen, während das Eis auf dem Boden des Glases liegen bleibt.

Zum Umwickeln des Eises dient am bequemsten Bleidraht, kann man diesen nicht haben, so nehme man Kupferdraht, der durch Ausglühen weich gemacht ist. Das Flämmchen zum Erwärmen des Glases sei ganz klein. Man hält das Glas so, daß das Flämmchen nicht ganz an die obere Grenze des Wassers, sondern etwas tiefer kommt; sonst springt das Probirglas sicher entzwei. Der Gefahr des Zerspringens kann man vorbeugen, wenn man das Glas ganz schwach schüttelt, während man es über die Flamme hält, damit durch die Bewegung des Wassers im oberen Theile des Glases die Wärme einigermaßen gleichmäßig verbreitet wird — stark schütteln darf man natürlich nicht, um nicht die ganze Wassermasse durcheinander zu rühren.

Luft und alle anderen Gase sind ohne Ausnahme schlechte Leiter der

Wärme, die sich auch in ihnen, wie in tropfbaren Körpern, nur da schnell verbreitet, wenn sie eine Bewegung hervorruft, also besonders dann, wenn der tiefere Theil eines mit Luft gefüllten Raumes erwärmt wird, so daß die warme, leichte Luft aufsteigen kann. Wollte man einen mit Luft gefüllten Raum von oben erwärmen, so würde die erwärmte Luft oben bleiben und es würde außerordentlich lange dauern, ehe die Wärme sich bis unten verbreitete. Beseitigt man auf irgend eine Weise die leichte Beweglichkeit der Luft, verhindert sie also, in Strömung zu gerathen, so wird eine rasche Ausbreitung der Wärme auch beim Erwärmen von der Seite oder von unten nicht mehr möglich sein. Um die Bewegung der Luft in einem Raume zu verhindern, muß man denselben durch recht viele Zwischenwände in lauter kleine Räume zertheilen, dann können größere Strömungen gar nicht mehr eintreten und in den einzelnen; kleinen Räumen nur sehr schwache, kleine Strömungen, die die Wärme nur langsam verbreiten. Solche durch viele Zwischenwände in viele kleinere Räume zerlegte größere Räume voll Luft haben wir vor uns in den stark porösen Körpern, die oben als schlechte Wärmeleiter genannt worden sind (Gewebe, Pelzwerk, Federn, Asche); diese sind großentheils deshalb so schlechte Wärmeleiter, weil sie beträchtliche Mengen der sehr schlecht leitenden Luft in einem Zustande enthalten, wo diese nicht in Bewegung kommen kann.

58. **Specifische und latente Wärme; Erzeugung von Wärme und Kälte.** Zwei mit Stielen von Eisendraht versehene, gleich große Kugeln von Zink und Blei bringt man in ein Gefäß mit kochendem Wasser, läßt sie so lange darin, bis sie sicher die Temperatur von 100° angenommen haben, hebt sie dann schnell heraus und legt sie auf eine Unterlage aus einem recht leicht schmelzbarem Stoff, z. B. auf Wachs oder Talg. Die Zinkkugel schmilzt in die Unterlage ziemlich tief, die Bleikugel nur ganz wenig ein. Beide Kugeln sind gleich warm und obgleich die Bleikugel eben so groß und mehr als die Hälfte schwerer ist, als die Zinkkugel, giebt sie doch viel weniger Wärme an die Unterlage ab, als jene, wenn sich beide von 100° bis auf die gewöhnliche Lufttemperatur abkühlen. Es enthalten Körper von gleicher Temperatur oft ganz verschiedene Mengen von Wärme und geben bei einer Abkühlung um gleich viel Grade verschiedene Wärmemengen ab, nehmen umgekehrt bei einer Erwärmung um gleich viel Grade verschiedene Wärmemengen auf. Die Wärmemenge, welche man braucht, um 1 Kilogramm Wasser einen Grad zu erwärmen, hat man mit einem besonderen Namen bezeichnet, man nennt sie eine Wärmeeinheit oder Calorie. Bei fast allen anderen Stoffen braucht man weniger Wärme, um 1^{kgr} um 1° zu erwärmen, als beim Wasser; nur das Wasserstoffgas erfordert eine größere Wärmemenge, als das Wasser. Die Zahl, welche angiebt, wie viel Calorieen man braucht, um ein Kilogramm eines Stoffes einen Grad zu erwärmen, nennt man die specifische Wärme (auch Wärmecapacität) des Stoffes.[97]

Nach dem eben über die zur Erwärmung verschiedener Stoffe nöthigen Wärmemengen Gesagten ist somit nur beim Wasserstoffgas die specifische

[97] Richtiger ist eigentlich zu sagen: die specifische Wärme eines Körpers ist die Zahl, welche angiebt, wieviel mal so groß die zu einer Erwärmung desselben nöthige Wärmemenge ist, als die Wärmemenge, welche man braucht, um ein gleiches Gewicht Wasser eben so viel Grad zu erwärmen. — Die oben gegebene Erklärung ist weniger allgemein gehalten, drückt aber schließlich ganz dasselbe aus und ist einfacher.

Wärme größer als 1 (sie ist da 3,4); beim Wasser ist sie 1 und bei allen übrigen Stoffen ist sie kleiner, als 1, also ein echter Bruch.

Zur Herstellung der Kugeln von Blei und Zink schmilzt man das Metall in dem blechernen Gußlöffel im Ofenfeuer und gießt es in die Kugelform, in welche man einen dünnen Eisendraht hält, der unten zu einem kleinen Ringe gebogen ist. Der gerade Theil des Drahtes sei etwa 10^{cm} lang. Um den dünnen Draht nicht zu beschädigen, läßt man den im Eingußloch sich bildenden Zapfen an der Kugel und entfernt nur die von einem etwaigen Ueberfließen der Form herrührenden, am obern Theile des Zapfens seitlich vorstehenden Metalltheile mit dem Messer oder der Kneipzange und der Feile. Das Erwärmen der Metallkugeln geschieht in einem mit siedendem Wasser gefüllten Töpfchen, welches klein genug ist, um die Drahtstiele der Kugeln oben herausragen zu lassen, so daß man sie mit der Hand bequem fassen kann. Man schleudert nach dem Herausnehmen aus dem Wasser durch eine schnelle Handbewegung die an den Kugeln hängenden Tropfen ab und bringt dann die Kugeln schnell auf ihre Unterlage; damit sie nicht umfallen und fortrollen, hält man die Stiele leicht in der Hand. Die beiden Kugeln dürfen nicht dicht neben einander, sondern müssen in eine Entfernung von ein paar Centimetern kommen.

Als Unterlage benutzt man für die kleinen Kugeln, wie sie die zu unserer Werkzeugssammlung gehörige Kugelform giebt, Talg, der in einem kleinen Näpfchen geschmolzen und dann darin erstarrt ist — am einfachsten ein blechernes Illuminationslämpchen, aus dem man den Docht entfernt hat. Kann man eine große Büchsenkugelform anwenden, also größere Kugeln herstellen, die bei gleicher Temperatur eine größere Menge von Wärme aufnehmen, so kann man als Unterlage eine dünne Scheibe von Wachs benutzen. Eine solche Scheibe erhält man, wenn man eine Untertasse halb voll Wasser füllt, 30^{gr} Wachs hineinbringt, im Ofen bis zum völligen Zerschmelzen des Wachses erwärmt und dann die Tasse an einem ruhigen Orte langsam abkühlen läßt. Sobald das Wachs erstarrt ist, fahre man mit einem spitzen Messer am Rande der Tasse herum, um die Wachsschicht abzulösen, damit sie nicht durch die Zusammenziehung beim weiteren Abkühlen in Stücke zerreißt; man warte aber noch einige Stunden, ehe man sie vom Wasser abnimmt, damit sie vorher ordentlich fest wird.

Die Zinkkugel aus unserer kleinen Kugelform schmilzt bis etwa zur Hälfte in den Talg ein, die Bleikugel nur ganz wenig. Von den größeren Kugeln schmilzt die aus Zink gewöhnlich ganz durch die Wachsscheibe hindurch, die aus Blei nur wenig ein.

Eisen hat eine noch größere specifische Wärme, als Zink, Wismuth eine noch kleinere aus Blei. Man kann aus einem Stück Rundeisen eine Kugel feilen (in die man ein Loch bohrt, um einen Drahtstiel einzulöthen) und aus Wismuth eine Kugel gießen; erstere schmilzt noch tiefer ein oder noch schneller durch, als die Zinkkugel, während letztere fast gar nicht einschmilzt.

Die Messung der Wärmemengen, welche beim Erwärmen und Abkühlen der Körper aufgenommen und abgegeben werden, also auch die Ermittelung der specifischen Wärme ist eine sehr mühsame und schwierige, mit verwickelten Rechnungen verknüpfte Arbeit, wenn es sich darum handelt, genaue Ergebnisse zu bekommen. Der Grund davon liegt darin, daß wir kein Mittel besitzen, die Verbreitung der Wärme völlig zu verhindern. Wir können dadurch, daß wir einen Körper mit schlechten Wärmeleitern umgeben, bewirken, daß er nur langsam Wärme abgiebt, wenn er wärmer ist, als seine Umgebung und langsam Wärme aufnimmt, wenn er kühler ist; wir können aber nie einen Verlust oder eine Zufuhr von Wärme völlig beseitigen und die Ermittelung und Berechnung dieser einem Körper verloren gehenden oder ihm zufließenden Wärmemengen ist es vorzugsweise, welche die Bestimmungen der specifischen Wärme und ähnliche Arbeiten schwierig und verwickelt macht.

Es kann hier nicht entfernt davon die Rede sein, eine Anleitung zu

solchen Messungen zu geben; es soll nur durch ein paar Beispiele ein ohngefähres Bild gegeben werden von dem Wege auf dem man überhaupt derartige Zahlen ermitteln kann, aber mit Vernachlässigung aller eigentlich nöthigen Correctionen.

In ein großes, dünnwandiges Glas bringe man 500^{gr} frisches Wasser und stecke ein Thermometer hinein, um seine Temperatur zu erfahren. Dann erhitze man 500^{gr} Wasser in einer geräumigen Kochflasche bis fast zum Sieden, ermittele ebenfalls die Temperatur mit dem Thermometer und gieße dann schnell das heiße Wasser in das kalte, rühre das Gemenge mit einem Holzspahn lebhaft um und beobachte die Temperatur des Gemisches: sie ist nahezu das Mittel aus den Temperaturen des kalten und des warmen Wassers.[98] Betrug die Temperatur des kalten Wassers 15°, die des heißen 95°, so ist die des Gemisches 55°. Die 500^{gr} oder 0^{kgr},5 heißen Wassers geben, indem sie sich von 95° bis 55°, also 40° abkühlen eine Wärmemenge von 0,5. 40 = 20 Colorieen ab und diese 20 Calorieen sind gerade im Stande ein halbes Kilogramm Wasser um $\frac{20}{0,5} = 40°$, also von 15° auf 55° zu erwärmen.

Vermischt man aber verschieden warme, gleich große Mengen verschiedenartiger Stoffe, so ist die Temperatur des Gemisches nicht das Mittel aus den Temperaturen der beiden Stoffe. Man wäge in einem großen Glase 1^{kgr} Wasser ab, ermittle seine Temperatur und mache dann in einem kleinen Kochfläschchen 1^{kgr} Quecksilber 74° wärmer, als das Wasser ist (also beispielsweise 89° warm, wenn die Temperatur des Wassers 15° beträgt). Sobald das Quecksilber die gewünschte Temperatur hat, läßt man es in einem dünnen Strahle in das Wasser fließen, das man dabei lebhaft umrührt — Wasser und Quecksilber bekommen dabei eine Temperatur, welche nur 2° höher ist, als die des Wassers war. War das Wasser 15°, das Quecksilber 89° warm, so zeigt das Gemisch 17°. Das Kilogramm Quecksilber hat also, indem es sich von 89° bis 17°, das ist um 72° abkühlte, nur soviel Wärme abgegeben, als nöthig ist nm 1^{kgr} Wasser 2° zu erwärmen, d. h. 2 Calorieen. Wenn 1^{kgr} Quecksilber bei einer Abkühlung um 72° 2 Calorieen abgiebt, so wird es bei einer Abkühlung um einen Grad nur $^2/_{72} = {}^1/_{36}$ Calorie abgeben; umgekehrt nimmt es bei einer Erwärmung um 1° nur $^1/_{36}$ Calorie auf: die specifische Wärme des Quecksilbers ist $^1/_{36}$ oder 0,028.

Das Erwärmen des Kochfläschchens mit dem Quecksilber nehme man der Sicherheit wegen nicht unmittelbar über der Lampe vor, sondern stelle das Fläschchen in eine 1^{cm} hohe Schicht von trockenem Sande oder besser von trockenen Eisenfeilspähnen, die sich in einem eisernen Schälchen oder auf einem Eisenblech befindet und erhitze das Schälchen oder Blech mit der Weingeist- oder Gasflamme.

Kann man sich einen einige Decimeter großen, recht dichten und möglichst blasenfreien Eisblock verschaffen, so läßt sich auch mit diesem eine ohngefähre Bestimmung der specifischen Wärme vornehmen. Man bohre in denselben von oben mit dem weitesten Centrumbohrer ein Loch, dessen Tiefe etwas größer ist, als eines der 98^{gr} schweren Bleigewichte, die auf Seite 40 erwähnt sind und deren Herstellung auf Seite 43 und durch Fig. 46 er-

[98] Thatsächlich ist sie etwas niedriger, als das Mittel, weil nicht alle Wärme des warmen Wassers dem kalten Wasser zu gute kommt, sondern ein Theil derselben an das Glasgefäß abgegeben wird und ein anderer Theil an die umgebende Luft verloren geht.

läutert ist. Durch Schaben mit dem Messer erweitert man das Loch soviel, daß es das Bleigewicht bequem aufnehmen kann. An das Gewicht bindet man einen dünnen Faden, um es mittelst dessen halten zu können und hängt es einige Zeit in ein Gefäß mit siedendem Wasser, um es auf 100° zu erwärmen. Aus der Höhlung des Eisblocks entfernt man alle kleinen Eisstückchen durch Auswischen mit einem Tuche, saugt das etwa in der Höhlung befindliche Wasser weg und bringt schnell das erwärmte Bleistück hinein. Nachdem dieses einige Minuten gelegen und seine Wärme an das Eis abgegeben hat, hebt man es wieder heraus, saugt das durch Schmelzen des Eises entstandene Wasser mit der Pipette auf und bringt es in ein kleines Meßgefäß (Fig. 39 obere Figur); es wird etwa $3^{cm},75$ betragen. Dann vergrößere man die Höhlung des Eisblocks; man macht sie etwa 6^{cm} weit und eben so tief, entfernt Eisstückchen und Wasser aus derselben und schüttet 98^{grm} Wasser hinein, die man in einem Kochfläschchen bis zum eben beginnenden Sieden erwärmt hat. Mittelst eines Thermometers rührt man die Wassermasse um, bis sie eine Temperatur von 0° zeigt, sich also auf die Temperatur des Eises abgekühlt hat; dann nimmt man mittelst der Pipette das Wasser wieder aus der Höhlung und mißt es in einem größeren Meßgefäße: sein Volumen beträgt jetzt etwa $220^{cc},5$.[99] Das Volumen des Wassers hat sich also um 220,5—98, d. i. um $122^{cc},5$ vergrößert; es sind durch die 98^{gr} warmes Wasser $122^{gr},5$ Eis geschmolzen worden, während die gleich warme und gleich schwere Bleimasse nur $3^{gr},75$ Eis geschmolzen hat. Die Wärmemengen, die Wasser und Blei bei gleicher Abkühlung abgeben, verhalten sich also, wie 122,5 zu 3,75; ebenso verhalten sich natürlich die Wärmemengen, welche sie bei gleicher Erwärmung aufnehmen und da die specifische Wärme des Wassers 1 ist, so findet man die des Bleies durch die Proportion

$$122{,}5 : 3{,}75 = 1 : x$$
$$x = 0{,}03.$$

0,03 ist also die specifische Wärme des Bleies.

Schon bei der Bestimmung der festen Punkte am Thermometer ist erwähnt worden, daß sich die Temperatur des Eises beim Schmelzen und des Wassers beim Sieden nicht ändert, obgleich man eine Menge von Wärme zuführt. Alle Wärme, welche man dem Eis von 0° mittheilt, wird bei der Schmelzung verbraucht; das durch die Schmelzung entstehende Wasser ist nicht wärmer, als 0°. Ebenso wird alle dem Wasser von 100° zugeführte Wärme zur Dampfbildung verbraucht, ohne daß der Dampf wärmer wird, als 100°. Man bezeichnet diesen Wärmeverbrauch als **Wärmebindung**; man sagt die Wärme wird gebunden oder latent.

Will man Wasser in Eis verwandeln, so reicht es nicht aus, es auf 0° abzukühlen; das Wasser in einem Gefäße gefriert noch nicht, wenn man es in ein größeres Gefäß mit 0° warmem Eise stellt. Vielmehr muß man das Wasser in Berührung mit Körpern bringen, welche kälter sind, als 0°, damit sie dem auf 0° abgekühlten Wasser noch mehr Wärme entziehen; das Wasser von 0° muß Wärme abgeben, wenn es sich in Eis verwandeln soll und zwar giebt das Wasser beim Gefrieren gerade so viel Wärme ab, wie das Eis beim Schmelzen aufnimmt. Diese Abgabe von Wärme, welche stattfindet,

[99] Auch bei diesem Versuche wird man der unvermeidlichen Fehlerquellen wegen nur ganz annähernd die oben angegebenen Zahlen finden.

ohne daß das gefrierende Wasser seine Temperatur ändert — das entstehende Eis ist 0° warm — nennt man **Freiwerden der Wärme**. So wie eine erstarrende Flüssigkeit Wärme abgiebt, ohne ihre Temperatur zu ändern, so findet auch ein Freiwerden von Wärme statt, wenn ein dampfförmiger Körper in den tropfbaren Zustand übergeht.

Das Freiwerden von Wärme läßt sich am schönsten wahrnehmen beim Erstarren einer im Zustande der Ueberschmelzung befindlichen Flüssigkeit; bei dem durch Zusatz von einigen festen Körnchen zum Erstarren gebrachten unterschwefligsauren Natrium läßt sich die frei werdende Wärme unmittelbar mit der Hand fühlen.

Bringt man 1^{kgr} Eis von 0° in 1^{kgr} Wasser von 80°, so schmilzt das Eis; man erhält 2^{kgr} Wasser und die Temperatur dieses Wassers ist 0°: alle Wärme, welche das 80° warme Wasser bei der Abkühlung auf 0° abgiebt, wird von dem schmelzenden Eise verbraucht; 1^{kgr} Eis bindet also beim Schmelzen 80 Calorieen. Man sagt: „die Wärme, welche beim Flüssigwerden des Eises latent wird, beträgt 80 Calorieen auf's Kilogramm" oder kürzer „die latente Wärme des flüssigen Wassers ist 80".[100] Während man die latente Schmelzwärme des Wassers wirklich so ermittelt, daß man sieht, wie viel Wärme das Eis bei seiner Schmelzung verbraucht, verfährt man bei der Bestimmung der latenten Verdampfungswärme besser umgekehrt; man beobachtet nicht wie viel Wärme erforderlich ist, um Wasser in Dampf zu verwandeln, sondern wie viel Wärme der Dampf abgiebt, wenn er sich in Wasser verwandelt.

Man füllt eine Retorte mit Wasser, versieht sie mit einem Kork und einem rechtwinklig gebogenen Glasrohr, klemmt ihren Hals in einen Retortenhalter so ein, daß das Ende des Glasrohres senkrecht nach unten gerichtet ist und erhitzt das Wasser zum Kochen. Sobald ein lebhafter Dampfstrahl aus dem Glasrohre herausfährt, bringt man ein Becherglas (s. Anm. Nr. 100) mit 360^{gr} Wasser, das man auf 20° erwärmt, (oder im heißen Sommer bis auf 20° abgekühlt) hat, derart unter das Rohr, daß dieses in das Wasser eintaucht, wie Fig. 399 zeigt. Unter fortwährendem Umrühren mit einem Thermometer läßt man solange Dampf in das Wasser strömen, bis dieses

---

[100] In der oben angegebenen Weise ist die Bestimmung der latenten Wärme des flüssigen Wassers nicht gut ausführbar, weil, wenn das Wasser nahezu auf 0° abgekühlt ist, die Schmelzung der letzten Theile des Eises sehr langsam geht und unterdeß eine beträchtliche Wärmemenge von der umgebenden Luft an das Gefäß mit dem Wasser abgegeben wird. Besser kann man den Versuch auf folgende Weise anstellen. Man erwärmt in einem sogenannten Becherglase (d. i. ein cylindrisches Glas mit dünner Wand und dünnem Boden), das auf einem mit Sand oder Eisenfeile bedeckten Blech erhitzt wird oder allenfalls in einem Topfe 500^{gr} Wasser bis auf 60°, nimmt das Gefäß vom Feuer, schüttet 200^{gr} Eis hinein, rührt um und beobachtet mittelst des Thermometers die Temperatur, welche das Gemisch zeigt, sobald alles Eis geschmolzen ist; sie wird etwa 20° betragen. Indem sich 500^{gr} oder $0^{kgr},5$ Wasser von 60° auf 20°, also um 40° abkühlen, geben sie 40.0,5 = 20 Calorieen ab. Diese 20 Calorieen haben gedient, um die 200^{gr} Eis zu schmelzen und in Wasser von 20° zu verwandeln. Beim Schmelzen des Eises entstehen zunächst 200^{gr} oder $0^{kgr},2$ Wasser von 0°; dieses Wasser auf 20° zu erwärmen, sind 20.0,2 = 4 Calorieen erforderlich gewesen. Zur eigentlichen Schmelzung des Eises sind also von den 20 Calorieen, welche das warme Wasser abgegeben hat, nur 20—4 = 16 Calorieen verbraucht worden. Wenn aber $0^{kgr},2$ Eis beim Schmelzen 16 Calorieen binden, so ergiebt sich die Wärmemenge, welche beim Schmelzen von 1^{kgr} latent wird, nach der Proportion

$$0,2 : 1 = 16 : x$$
$$x = 80 \text{ Calorieen.}$$

auf 40° erwärmt ist, nimmt dann schnell das Gefäß mit Wasser von dem Dampfrohre weg und wägt es. Man wird es ohngefähr 12^{gr} schwerer finden, als vorher; es sind also 12^{gr} Wasserdampf zu Wasser verdichtet worden. Die 360^{gr} oder $0^{kgr},36$ Wasser, welche erst in dem Glase waren, sind von 20° auf 40°, also um 20° erwärmt worden; dazu waren 0,360. 20 = 7,2 Calorieen nöthig. Es sind aber nicht die ganzen 7,2 Calorieen beim Verdichten der 12^{gr} Dampf zu Wasser von 100° frei geworden. Das durch die Verdichtung entstehende Wasser (12^{gr} oder $0^{kgr},012$) hat sich von 100° auf 40°, also um 60° abgekühlt und dabei 0,012. 60 = 0,72 Calorieen abgegeben, die auch mit zur Erwärmung des kalten Wassers beigetragen haben und also in den 7,2 Calorieen mit enthalten sind, welche dieses Wasser aufgenommen hat. Von der Verdichtung des Dampfes rühren also nur 7,2—0,72 = 6,48 Calorieen her; 6,48 Calorieen sind bei der Verdichtung von $0^{kgr},012$ Dampf frei geworden. Die Wärmemenge, welche bei der Verdichtung von 1^{kgr} Dampf frei wird, findet man nach der Proportion

$$0{,}012 : 1 = 6{,}48 : x$$
$$x = 540 \text{ Calorien.}$$

Fig. 399.



1/6 nat. Gr.

540 Calorieen[101] werden also bei der Verdichtung von 1^{kgr} Dampf von 100° zu Wasser von 100° frei; umgekehrt wird die nämliche Wärmemenge gebunden, wenn 1^{kgr} Wasser in Dampf verwandelt wird.

Das Freiwerden und die Bindung der Wärme sind für uns wichtige Mittel zur künstlichen Veränderung der Temperatur. Temperaturerhöhungen (Erwärmungen) können wir allerdings auf sehr mannichfache Waise hervorrufen, Temperaturerniedrigungen (Abkühlungen) aber fast nur mit Hülfe der Wärmebindung, welche beim Flüssigwerden von starren, oder beim Verdampfen von tropfbaren Körpern stattfindet.

Das gewöhnliche Mittel, Wärme hervorzubringen, ist die Verbrennung, deren Betrachtung aber nicht der Physik, sondern der Chemie zufällt; auch bei vielen anderen, chemischen Vorgängen wird Wärme erzeugt, so z. B. beim Löschen des Kalkes.

Von großer Wichtigkeit ist die Wärmeerzeugung durch Reibung. Sie wird zwar nicht benutzt, um große Mengen von Wärme zu gewinnen, wie die Verbrennung, findet aber tausendfältige Anwendung zur Erzeugung von

[101] Genauer 536 Calorien.

Wärme in kleinem Maaßstabe behufs des Feuermachens. Die älteste Art, Feuer zu machen, die heute kaum noch Verwendung bei einzelnen, uncultivirten Völkerstämmen findet, war die, daß Holz durch starke Reibung bis zum beginnenden Brennen erhitzt wurde, indem man ein längliches Holzstück mit einem Ende zwischen zwei andere Holzstücke einklemmt und es mittelst einer umgeschlungenen Bogensehne auf ähnliche Weise in schnelle Drehung versetzt, wie es mit der Bohrrolle geschieht. Dagegen benutzt man noch jetzt vielfach die Reibung, um Holz oberflächlich zu verkohlen; man erzeugt nämlich die schwarzen Ringe an gedrehten Holzspielwaaren durch Andrücken eines Stückchens Holz an das auf der Drehbank schnell umlaufende Stück; die durch die Reibung erregte Hitze schwärzt nach kurzer Zeit die geriebene Stelle des Holzes.

Das Feuermachen mit Stahl und Stein beruht ebenfalls auf der Reibung. Von dem schnell am Feuerstein hinfahrenden Stahle werden kleine Theilchen abgekratzt und durch die Reibung so stark erhitzt, daß sie glühend werden und den leicht brennbaren Zunder, auf den sie fallen, entzünden.

Die jetzt fast ausschließlich gebräuchliche Art des Feuermachens mit Hülfe von Streichhölzchen benutzt ebenfalls die durch Reibung erzeugte Wärme; diese braucht aber lange nicht so groß zu sein, als bei den beiden im Vorhergehenden besprochenen Arten des Feuermachens, weil die Streichhölzchen mit einer Masse versehen sind, die sich schon bei einer weit unter der Glühhitze liegenden Temperatur entzündet.

Außer durch Reibung wird auch durch **Druck** und **Stoß** Wärme erzeugt; ein Bleistück von einigen Centimetern Länge und Breite und 1 bis 2^{cm} Dicke, das man auf einer schweren Unterlage (einer steinernen Thürschwelle, einem großen Ambos oder dergl.) anhaltend kräftig mit einem Hammer bearbeitet, wird dabei sehr fühlbar warm.[102]

Gasförmige Körper werden durch **Zusammenpressung** beträchtlich erwärmt; eine sehr rasche und kräftige Zusammenpressung kann eine Erwärmung bis zur Glühhitze und dadurch eine Entzündung leichtbrennbarer Stoffe bewirken. Zu einer solchen Zusammenpressung dient das sogenannte **pneumatische Feuerzeug**, Fig. 400, ein sehr starkwandiger, unten durch eine Messingfassung verschlossener Glascylinder, in welchem ein an einer eisernen Kolbenstange mit Holzgriff sitzender Lederkolben luftdicht eingepaßt ist. Am unteren Ende des Kolbens ist ein kleines hohles Messingstück angebracht, das innen einen wagrechten, spitzen Messingstift trägt, der zur Befestigung des zu entzündenden Körpers dient. Man spießt an diesen Stift ein linsengroßes Stückchen Zunder, stellt den Glascylinder mit seiner Fassung auf den Tisch, hält ihn mit der Linken fest, setzt den Kolben in die Mündung des Cylinders ein, faßt den Knopf der Kolbenstange mit der Rechten und stößt den Kolben so kräftig als möglich nieder, zieht ihn aber auch sofort wieder zurück: gelingt der Versuch, so glimmt der Zunder.

Das schnelle Herausziehen aus dem Cylinder ist nöthig, weil die kleine Luftmenge des Cylinders das Brennen des Zunders nur kurze Zeit unterhalten kann.

---

[102] Es entsteht Wärme in allen Fällen, in denen mechanische Arbeit verbraucht wird, ohne daß dafür eine gleich große, andere mechanische Arbeit auftritt, und zwar läßt sich nachweisen, daß immer für je 424 Kilogrammeter verschwundener Arbeit 1 Calorie erzeugt wird. Wenn man, wie bei den Dampfmaschinen, mechanische Arbeit durch Wärme hervorbringt, so wird Wärme verbraucht, und zwar für jede 424 Kilogrammeter erzeugter Arbeit 1 Calorie; man nennt 424 Kilogrammeter das **mechanische Aequivalent der Wärme** (eigentlich der Wärmeeinheit).

Nicht immer gelingt es, den Zunder brennend aus dem Cylinder zu bringen; manchmal beobachtet man nur ein Aufleuchten in dem Augenblick, in dem man mit dem Kolben am tiefsten Punkte des Cylinders anlangt. Vor jeder Wiederholung des Versuches, der vorhergehende mag gelungen oder mißglückt sein, schiebe man ein enges Glasrohr bis fast auf den Boden des Cylinders und sauge die Luft heraus, damit sich der Cylinder mit frischer Luft füllt.

Der Kolben muß gut geölt werden, damit er dicht schließt und doch nicht gar zu streng geht.

Fig. 400.



$^1/_3$ nat. Gr.

Als Zunder wird bei dem pneumatischen Feuerzeug gewöhnlich Feuerschwamm benutzt; weit sicherer, als Feuerschwamm, entzündet sich ein Stückchen der mit Chromgelb gefärbten Baumwolle, die in Taschenfeuerzeugen als Lunte benutzt wird. Diese Lunte besteht aus einer Anzahl dicker, paralleler Fäden, welche durch ein Gewebe von dünneren Fäden zusammengehalten werden; man benutze ein ganz kurzes Stückchen eines dicken Fadens, den man aus einem Endchen Lunte herauszieht.

Das Freiwerden von Wärme beim Erstarren tropfbarer Körper, wie wir es bei der Erschütterung des überschmolzenen, unterschwefligsauren Natriums beobachtet haben, findet keine praktische Verwendung, dagegen läßt sich die beim Verdichten des Wasserdampfes frei werdende Wärme sehr zweckmäßig benutzen zur Erwärmung von Dingen, die man nicht unmittelbar der Einwirkung einer Flamme aussetzen will. In dickwandigen, gläsernen oder in hölzernen Gefäßen, von denen erstere über Feuer zerspringen, letztere verbrennen würden, kann man kaltes Wasser durch Einleiten von Dampf mittelst eines Rohres bis zum Sieden erhitzen. Ein großer Vortheil der Erwärmung durch Dampf (Dampfheizung) ist, daß die Temperatur dabei eine gewisse Grenze nie überschreiten kann; bei der Erwärmung des Wasserhammers durch Dampf in Fig. 396 ist man ganz sicher, daß der Apparat nicht über 100° erhitzt wird und also im Innern kein Druck entstehen kann, welcher größer wäre, als der äußere Luftdruck und ein Zerspringen des Glases veranlassen könnte.

Bei dem Schmelzen eines starren Körpers führen wir ihm Wärme zu, welche gebunden wird, d. h. verschwindet, ohne daß der Körper wärmer wird. Können wir einen starren Körper flüssig machen, ohne ihm Wärme zuzuführen, so wird auch noch Wärme gebunden; wenn aber Wärme verschwindet, ohne daß wir sie durch Zufuhr neuer Wärme ersetzen, so muß nothwendigerweise eine Abkühlung eintreten. Ein Mittel, starre Körper ohne Zufuhr von Wärme flüssig zu machen, besitzen wir in der zwischen den Molekülen mancher verschiedenartiger Körper bestehenden Anziehung, welche die Auflösung starrer Körper in tropfbaren bewirkt (vergl. S. 145 und 146). Ein Körper, der durch Auflösung in einer Flüssigkeit selbst flüssig wird, bindet dabei ebensogut Wärme, als wenn er schmilzt; soll die Temperatur des Körpers und der Flüssigkeit bei der Lösung unverändert bleiben, so muß man soviel Wärme zuführen, als gebunden wird; thut man dies nicht, so findet eine Abkühlung statt.[103] Ein Salz, das sich sehr leicht und in großer Menge in Wasser

[103] Es giebt auch starre Körper, die sich ohne Abkühlung oder selbst unter beträchtlicher Erwärmung in Wasser lösen, z. B. das S. 424 erwähnte Aetzkali; in solchen

löst und dabei eine bedeutende Abkühlung giebt, ist das salpetersaure Ammoniak (auch salpetersaures Ammon oder salpetersaures Ammonium genannt). Mischt man dasselbe mit einem gleichen Gewicht Wasser unter lebhaftem Umrühren, so erhält man eine Abkühlung von der gewöhnlichen Lufttemperatur bis auf etwa —14°.

Nicht ganz so kräftig, wie salpetersaures Ammoniak, aber auch noch recht gut wirkt ein Gemenge von gleichen Theilen Kalisalpeter (vergl. S. 146) und Salmiak. Wenn man in einem großen Wasserglase 100^{gr} gepulverten Salpeter und 100^{gr} gepulverten Salmiak mit 200^{cc} frischen Wassers übergießt und das Gemenge 10 Minuten lang stark umrührt mittelst eines langen dünnen Probirglases, das man zur Hälfte mit Wasser gefüllt hat, so gefriert ein beträchtlicher Theil des im Probirglas befindlichen Wassers zu Eis.

Will man sich begnügen, die Abkühlung blos mit dem Thermometer, anstatt durch Eisbildung, nachzuweisen, so genügen 25^{gr} von jedem Salze und 50^{cc} Wasser, die man in einem kleinen Gläschen gleich mit dem Thermometer durcheinander rührt.

Eine noch stärkere Abkühlung, als die Vermengung eines leicht löslichen Salzes mit Wasser giebt die Vermischung desselben mit Eis, weil dabei nicht nur das Salz, sondern auch das Eis flüssig wird und Wärme bindet. Das schon erwähnte Gemenge von 3 Gewichtstheilen Eis mit einem Gewichtstheile Kochsalz ist die gewöhnlichste Kältemischung; die Kälte, welche man erhält, ist um so stärker, je feiner das Eis zerkleinert ist (am besten wirkt Schnee) und je mehr man die Mischung umrührt, weil die innige Vermengung der beiden Bestandtheile das Flüssigwerden und dadurch die Wärmebindung wesentlich beschleunigt. Bei Anwendung von recht gut zerkleinertem Eise und nicht zu kleinen Mengen beider Stoffe (etwa 900^{gr} Eis und 300^{gr} Kochsalz) und lebhaftem Rühren in einer Schüssel kühlt sich das Gemenge schnell auf —21° ab und hält sich ziemlich lange auf dieser Temperatur; schüttet man es in ein Glasgefäß, so überzieht sich dies mit einer Eisschicht, wie es im Winter die Fensterscheiben thun. Das stark abgekühlte Glas verdichtet auf seiner Oberfläche den in der Luft enthaltenen Wasserdampf zu tropfbarem Wasser und dieses gefriert.

Da beim Dampfförmigwerden tropfbarer Körper eine sehr bedeutende Wärmebindung stattfindet, so wird jede Verdampfung oder Verdunstung einer Flüssigkeit eine Abkühlung verursachen, wenn man nicht die gebundene Wärme durch Zuführung neuer Wärme ersetzt.

Feuchte Körper bringen immer das Gefühl der Kälte hervor, weil sie sich durch die Verdunstung unter die Temperatur ihrer Umgebung abkühlen. Flüssigkeiten, deren Siedepunkt tiefer liegt, als der des Wassers und die darum lebhafter, als dieses verdunsten (Weingeist, Aether, Schwefelkohlenstoff) bringen eine beträchtlich größere Verdunstungskälte hervor. Befördert man die Verdunstung des Aethers dadurch, daß man einen lebhaften Luftstrom hindurchbläst, welcher immer den gebildeten Dampf schnell entfernt und neuen Dampf sich bilden läßt, so kann sich der Aether auf —15° abkühlen. In Ermangelung eines guten Blasbalgs kann man durch Blasen mit dem Munde den Luftstrom erzeugen, man muß aber die aus dem Munde kommende, warme Luft erst durch frisches Wasser abkühlen; Fig. 401 zeigt die anzuwendende Vorrichtung. Eine geräumige Flasche wird etwa zur Hälfte

---

Fällen findet aber immer mit der Auflösung gleichzeitig ein chemischer Vorgang statt, welcher Wärme erzeugt.

mit Wasser gefüllt und verschlossen durch einen Kork, durch den zwei 5 bis 6^{mm} weite Glasröhren hindurchgehen. Die eine Röhre ist mit einem Kautschukschlauch versehen, in den man hineinbläst und taucht einige Centimeter tief in das Wasser; die andere Röhre endigt in der Flasche dicht unter dem Kork und ist außen zweimal rechtwinklig gebogen. Diese läßt man bis fast auf den Boden eines großen, zum dritten Theile mit Aether gefüllten Probirglases gehen (das man in einen Retortenhalter befestigt). Bei einige Minuten andauerndem, kräftigen Blasen überzieht sich das den Aether enthaltende Probirglas mit einer Eisschicht; ein in den Aether getauchtes Thermometer sinkt auf —15°.

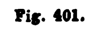


Fig. 401.

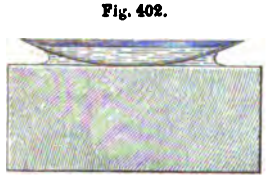


1/4 nat. Gr.

Der Schlauch muß etwas lang sein, so daß man mit dem Munde nicht zu nahe an das Aethergefäß zu kommen braucht, um nicht zuviel von den massenhaft entwickelten Aetherdämpfen einzuathmen, die etwas Kopfschmerzen erzeugen können. (Man berücksichtige auch die Feuergefährlichkeit des Aethers, stelle also den Versuch nicht bei Licht an). Der Schlauch darf aber auch nicht zu eng sein, damit das Blasen nicht gar zu sehr anstrengt.

Hat man eine Wasserleitung (vgl. S. 169) und eine recht große Flasche (von etwa 10 Liter Inhalt), so kann man den erforderlichen Luftstrom bequemer als mit dem Munde hervorbringen. Man verschließt die leere Flasche mit einem Kork durch den zwei Glasröhren hindurchgehen, wie bei der Flasche Fig. 401; die links befindliche Röhre braucht aber dabei nicht so tief in die Flasche hinabzureichen, als in der Figur. Anstatt in den Kautschukschlauch zu blasen, läßt man Wasser aus der Wasserleitung in denselben einfließen; das Wasser verdrängt die Luft aus der Flasche und treibt sie in kräftigem Strome durch den Aether.

Fig. 402.



2/3 nat. Gr.

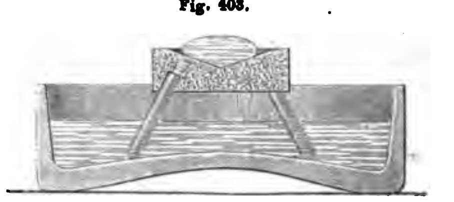
Im luftleeren Raume verdampft Aether außerordentlich rasch und erzeugt dabei eine bedeutende Kälte. Man legt auf den Teller der Luftpumpe ein kleines viereckiges Holzklötzchen, bringt darauf einige Tropfen Wasser, setzt auf das Wasser ein Uhrglas, füllt dieses mit Aether, bedeckt mit der Glocke und pumpt aus. (Fig. 402 zeigt das Klötzchen und Uhrglas sammt Wasser und Aether.) Es verdampft schnell ein beträchtlicher Theil des Aethers — manchmal mit, manchmal ohne Blasenwerfen — und nach einigen Minuten ist das zwischen dem Uhrglas und dem Klötzchen befindliche Wasser gefroren; man läßt Luft unter die Glocke, hebt diese ab und überzeugt sich, daß das Glas fest an das Klötzchen angefroren ist.

Zweckmäßig ist es, zu diesem Versuche eine kleine, flache Glocke anzuwenden; als solche kann man eine gewöhnliche Butter- oder Käseglocke nehmen, deren Rand

man mit Smirgel und Wasser auf einer Eisenplatte und zuletzt womöglich auf einem Stück Spiegelglas solange schleift, bis er gut eben ist.

In einem sehr gut ausgepumpten Raume verdampft selbst Wasser so lebhaft, daß es durch seine eigene Verdampfungskälte gefriert. Man bringt unter eine kleine Luftpumpenglocke eine flache Schale, die halb mit englischer Schwefelsäure gefüllt ist und stellt dahinein ein mit 3 Glasfüßen versehenes Schälchen aus Kork, dessen obere, vertiefte Fläche berußt ist, bringt auf den Kork 1 bis 2 cc Wasser und pumpt so vollständig als möglich aus. Fig. 403 zeigt den Durchschnitt der Glasschale mit dem Korkschälchen und den Flüssigkeiten. Sobald die Luft entfernt ist, beginnt das Wasser lebhaft zu verdampfen. Wäre die Schwefelsäure nicht da, so müßte man unaufhörlich fortpumpen, um den gebildeten Dampf zu entfernen, damit die Verdampfung fortdauern könnte. Die Schwefelsäure aber hat die Eigenschaft, Wasserdampf mit großer Begierde zu verschlucken und beseitigt ihn in dem Maße, in welchem er sich bildet; man hat also nur nöthig, die Luft durch Pumpen zu entfernen. Nach einiger Zeit ist das Wasser bis 0° abgekühlt nud beginnt zu gefrieren; häufig auch kühlt es sich weit unter 0° ab und erstarrt dann mit einem Male.

Fig. 403.



1/2 nat. Gr.

Dieser Versuch erfordert eine gut wirkende Luftpumpe, während der vorhergehende Versuch schon mit einer Pumpe gelingt, die keine sehr große Verdünnung erreichen läßt. Wie auf S. 491 angegeben ist, beträgt die Spannkraft des Wasserdampfes bei 0° nur $4^{mm},6$; soll also noch bei 0° eine lebhafte Verdampfung stattfinden, so darf der Druck unter der Luftpumpenglocke nicht mehr $4^{mm},6$ betragen, die Luft muß auf beträchtlich weniger, als $\frac{4,6}{760}$, d. i. auf weniger als $\frac{46}{7600}$ oder etwa $\frac{1}{146}$ ihres ursprünglichen Druckes und ihrer ursprünglichen Dichtigkeit verdünnt werden.

Die Schale für die Schwefelsäure sprengt man mit Sprengkohle aus einer Glasflasche, deren oberer Theil zerbrochen ist. Das Korkschälchen wird mit dem Messer zurecht geschnitten; seine drei Füße macht man aus Glasröhrenstückchen, die am unteren Ende zugeschmolzen sein müssen, damit die Schwefelsäure darin nicht durch Capillarwirkung aufsteigen und an den Kork kommen kann. Das Berußen des Korkes (mittelst eines in Terpentinöl oder Petroleum getauchten Spähnchens) bietet den Vortheil, daß dem Wasser nur ganz wenig Wärme von dem Kork mitgetheilt werden kann, weil Ruß nicht vom Wasser benetzt wird und also nur eine ganz geringe Berührung zwischen dem Wasser und dem Schälchen stattfindet. Manchmal verdampft das Wasser ohne Blasenwerfen; manchmal aber kommt es in wirkliches Sieden und zuweilen kann man sogar das seltsame Schauspiel beobachten, daß die schon gebildete Eisdecke von den Dampfblasen des bei 0° siedenden Wassers gehoben wird.

Auch das Eis verdampft im luftleeren Raume; wenn die Luftpumpe gut dicht hält, so kann man das Eis im Laufe einiger Stunden mehr und mehr abnehmen und schließlich verschwinden sehen, ohne daß es zuvor schmilzt.

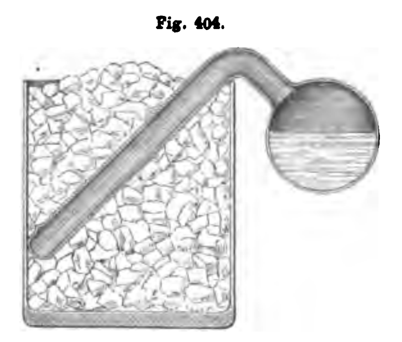
Ohne Luftpumpe kann man das Wasser durch seine eigene Verdampfung zum Gefrieren bringen, wenn man in einem durch Auskochen luftleer gemachten Gefäße den Wasserdampf durch starke Abkühlung verdichtet. Man hat dazu eine besondere Vorrichtung, welche **Kryophor** heißt und aus zwei durch eine heberartig gebogene Röhre verbundenen Glaskugeln besteht, deren eine das Wasser enthält, deren andere durch ein Kältegemisch abgekühlt wird.

Unser Wasserhammer läßt sich auch als Kryophor benutzen.

Man läßt alles Wasser in die Kugel laufen und hängt das Instrument in der aus Fig. 404 ersichtlichen Weise in ein Gefäß, das man mit der aus Kochsalz und Eis in einer Schüssel zusammengerührten Kältemischung ganz voll füllt.

Der im Apparate befindliche Wasserdampf wird durch die starke Abkühlung des in die Kältemischung getauchten Rohres fast ganz vollkommen verdichtet, aus dem Wasser in der Kugel aber entwickelt sich sofort neuer Dampf, der sich ebenfalls im Rohre verdichtet und so geht die Dampfentwicklung aus dem Wasser fort, bis dieses auf 0° abgekühlt ist und schließlich gefriert.

Fig. 404.



1/4 nat. Gr.

Auch bei diesem Versuche tritt leicht die Erscheinung der Ueberschmelzung ein, man muß manchmal den Apparat etwas erschüttern, ehe das Wasser gefriert. Man klopfe aber nur schwach an die Kugel, um das Wasser in derselben nicht zu sehr durcheinander zu rühren; das Wasser kühlt sich anfangs nur an der Oberfläche stark ab (die tieferen Theile behalten ziemlich lange eine Temperatur von 4°) und eine zu lebhafte Bewegung würde das stark abgekühlte Wasser mit dem weniger kalten vermengen und es also wieder etwas erwärmen. Man begnüge sich, wenn sich eine kleine Eismenge im Kryophor gebildet hat und hebe ihn dann aus dem Kältegemisch; bei fortgesetztem Frieren kann er zerspringen, wenn sich über dem Wasser eine festschließende Eisdecke bildet

Vergl. auch Anm. 104 auf S. 514.

Anhang.

59. **Witterungserscheinungen.** Die Lehre von den in der Atmosphäre von selbst eintretenden Naturerscheinungen (Meteoren), die Meteorologie gehört zwar eigentlich nicht in die Experimentalphysik, weil diese Erscheinungen eben nicht durch Experimente hervorgerufen werden; es sollen aber hier einige Witterungserscheinungen eine ganz kurze Erwähnung finden, welche wesentlich Wirkungen der Erwärmungsverhältnisse unserer Erde sind und durch das im Vorhergehenden Vorgetragene ihre Erklärung finden.

Die Oberfläche der Erde erhält ihre Wärme durch die Sonnenstrahlen. Je steiler die Strahlen auftreffen, um so mehr Strahlen kommen auf eine Fläche von bestimmter Größe, um so stärker ist folglich auch die Erwärmung. Da die Sonnenstrahlen die Oberfläche der Erde am Aequator viel steiler treffen, als in der Nähe der Pole, so werden die Gegenden in der Nähe des Aequators bedeutend mehr erwärmt, als die weiter nach den Polen zu gelegenen. Wäre die Erdoberfläche ganz gleichmäßig beschaffen, so würden alle gleich weit vom Aequator entfernten Punkte genau gleich stark erwärmt werden. Dies ist aber nicht der Fall. Die Oberfläche der Erde zeigt vielerlei Erhöhungen und Vertiefungen und ist mit sehr verschiedenen Stoffen (Wasser, Schnee, Stein- und Erdarten, Pflanzen) bedeckt, welche ein ganz

verschiedenes Absorptions- und Emissionsvermögen für die Wärmestrahlen und auch verschiedene specifische Wärme besitzen. Die festen Theile der Erde haben eine kleinere specifische Wärme, als das Wasser; sie würden sich also, wenn ihnen ebensoviel Wärme zugeführt oder entzogen würde, wie dem Wasser, um eine viel größere Zahl von Graden erwärmen oder abkühlen, als dieses. Da nun überdies die rauhen Theile der festen Erdoberfläche ein größeres Absorptions- und Emissionsvermögen besitzen, als das einen Spiegel bildende Wasser, so nehmen sie unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen mehr Wärme auf und verlieren bei Nacht mehr Wärme durch Ausstrahlung. Infolge dessen ändert sich die Temperatur der festen Erdoberfläche viel mehr, als die des Meeres. Verschiedene Tages- und Jahreszeit, verschiedene Entfernungen vom Aequator, verschiedene Gestalt und stoffliche Beschaffenheit bedingen den mannichfachsten Wechsel in der Erwärmung der Erdoberfläche; die atmosphärische Luft erwärmt sich durch die Berührung mit der Erde und ihre Temperatur wird deshalb ebenso wechseln, wie die der Erdoberfläche selbst. Veränderungen in der Temperatur der Luft verändern auch das Volumen, das specifische Gewicht und den Druck der Luft; infolge dieser Veränderungen ist fast die ganze Atmosphäre in fortwährender Bewegung; schon auf S. 484 wurde erwähnt, daß die verschiedene Erwärmung der Luft an verschiedenen Orten die Ursache des **Windes** sei. Das auf der Erdoberfläche befindliche Wasser verdunstet forwährend, um so lebhafter, je wärmer es ist. Der gebildete Wasserdunst wird von der bewegten Luft mit hin- und hergeführt und scheidet sich unter gewissen Bedingungen aus der Luft wieder aus, die sogenannten **wässrigen atmosphärischen Niederschläge** bildend.

In §. 56 lernten wir, daß ein Raum um so mehr Dampf enthalten kann, je wärmer er ist. Warme Luft kann nun auch mehr Wasserdampf aufnehmen, als kalte. Wenn mit Wasserdampf gesättigte Luft sich abkühlt, so muß sich ein Theil des Dampfes condensiren und in tropfbarer (oder fester) Form ausscheiden.

In der Nacht strahlt die Erde eine große Menge von Wärme aus; ist der Himmel mit Wolken bedeckt, so werfen diese den größten Theil der Wärmestrahlen nach der Erde zurück, so daß nicht viel Wärme verloren geht. Ist dagegen der Himmel wolkenlos, so gehen die Strahlen ungehindert fort; die Erdoberfläche kühlt sich beträchtlich ab. Die Theile der Luft, welche in unmittelbarer Berührung mit der Erde sind, werden zunächst mit abgekühlt; enthalten sie verhältnißmäßig große Mengen von Wasser, so scheidet sich dieses zum Theil als **Thau** oder bei niedriger Temperatur als **Reif** an den die Erdoberfläche bildenden Körpern aus.

Hat die Luft bei verhältnißmäßig großer Wärme an feuchten Orten recht viel Wasser aufgenommen, so scheidet sich infolge der nächtlichen Ausstrahlung nicht nur aus den allerunterſten Luftschichten, sondern bis zu einer Höhe von mehreren Metern tropfbares Wasser aus, das sich dann nicht an starre Körper ansetzen kann, sondern kleine Bläschen bildet, den **Nebel**, den man besonders über Flüssen und nassen Wiesen an wolkenlosen Sommertagen oft schon kurz nach Sonnenuntergang entstehen sieht. (Nebel kann auch durch andere Abkühlung, als die infolge der Ausstrahlung entstehen, während der Thau immer durch die Ausstrahlung veranlaßt wird).

Die **Wolken** unterscheiden sich vom Nebel nicht durch ihre Beschaffenheit an sich, sondern nur durch ihre größere Höhe und durch die Art und Weise ihrer Entstehung, die eine ziemlich verschiedenartige ist. Wolken können da-

durch entstehen, daß Luft, die in warmen Gegenden beträchtliche Mengen Wasserdampf aufgenommen hat, durch den Wind nach kälteren Gegenden geführt wird und sich da nach und nach selbst bis zur Ausscheidung des Wassers abkühlt — der aus Südwesten, also vom atlantischen Ocean zu uns kommende Wind bringt uns fast immer bewölkten Himmel und häufig Regen. Eine oft vorkommende Ursache plötzlicher Wolkenbildung (und heftiger Regengüsse) ist die schnelle Abkühlung von warmer und feuchter Luft durch rasche Vermischung mit kalter Luft, wie sie vorkommt, wenn heftige Windströme von verschiedener Temperatur zusammentreffen. Ein weiterer Anlaß zur Ausscheidung des Wassers aus der Luft ist das Aufsteigen derselben an Gebirgen. Wenn ein Windstrom an ein Gebirge trifft und sich an diesem wie auf einer schiefen Ebene aufwärts zu bewegen gezwungen ist, so kommt die Luft unter immer kleineren und kleineren Druck; sie dehnt sich infolge dessen aus und wie die Zusammenpressung der Luft eine Erwärmung bewirkt, so veranlaßt die Ausdehnung derselben eine Abkühlung.[104] An Gebirgen, wo feuchter Wind vorzugsweise aus einer Richtung kommt, findet eine Wasserausscheidung auf diese Art vorwiegend an der Seite statt, von der dieser Wind kommt; in den Alpen sind die südwestlichen Abhänge, an denen der feuchte Südwestwind aufsteigt und einen großen Theil seines Wassergehaltes ausscheidet, viel wasserreicher, als die nordöstlichen.

In großer Höhe ist die Temperatur der Luft immer unter 0°; die in großer Höhe schwebenden Wolken (die sogenannten Federwolken oder Wetter-

---

[104] Die Wolkenbildung, welche durch die bei der Ausdehnung von Luft stattfindende Abkühlung eintritt, läßt sich recht schön im Kleinen nachahmen. Man bringt in eine Retorte etwas Wasser, schüttelt dasselbe mit der in der Retorte enthaltenen Luft tüchtig durcheinander, so daß diese sich mit Wasserdampf möglichst sättigt, hält die Retorte so wie Fig. 13 (S. 16) zeigt, setzt die Oeffnung des Retortenhalses an den Mund, bringt etwa 10^{cm} hinter den Bauch der Retorte eine Kerzenflamme und saugt endlich an der Retortenöffnung. Sobald die Luft nur einigermaßen verdünnt wird, scheiden sich feine Wasserbläschen aus und trüben dieselbe; die Retorte erfüllt sich mit einer Wolke. Das hinter die Retorte gehaltene Licht (man macht den Versuch am besten bei Abend) erscheint durch die Wolke gesehen gerade so, wie der Mond, wenn man ihn durch einen dünnen Wolkenschleier erblickt, nämlich mit einem Hofe. Die Farben des Hofes entstehen in den unendlich dünnen Bläschen auf die nämliche Art, wie die der Seifenblasen — eine Erklärung ihrer Entstehungsweise ist hier nicht möglich). Je mehr man die Luft verdünnt, um so mehr scheidet sich Wasserdampf aus, um so dichter wird die Wolke; dabei ändern sich zugleich die Farben des Hofes, welches die Lichtflamme umgiebt. Läßt man wieder Luft in den Retortenhals treten, so daß die durch das Wasser abgesperrte Luft wieder auf ihr ursprüngliches Volumen zurückgeht, so verschwindet auch die Wolke wieder; die Luft erwärmt sich beim Zusammendrücken und löst augenblicklich das ausgeschiedene, tropfbare Wasser wieder als Dampf auf.

Manchmal will der Versuch nicht sofort gelingen; es findet nämlich nicht immer die Ausscheidung des tropfbaren Wassers in Form von Bläschen, sondern zuweilen auch in Form von kleinen, vollen Tröpfchen statt, die zu klein sind, um sichtbar zu werden. Bekommt man beim Verdünnen der Luft keine Wolke, so fülle man die Retorte ganz mit Wasser, um alle Luft aus ihr zu entfernen und lasse dann den größten Theil des Wassers wieder ausfließen, so daß sich die Retorte mit frischer Luft füllt; dann gelingt der Versuch in der Regel.

Benutzt man eine Retorte, in der man wiederholt oder anhaltend Wasser gekocht hat, so muß man sie in der Regel erst durch Ausschwenken mit etwas Salzsäure reinigen, weil vieles Brunnenwasser beim Kochen aufgelöste Kalkverbindungen abscheidet, welche sich an die Retortenwand setzen und deren Durchsichtigkeit verringern. Nach dem Auswaschen mit Salzsäure zeigt sich die Retorte schon an und für sich wolkig getrübt; man füllt einmal ganz mit Wasser, um die trübe Luft auszutreiben.

bäume) bestehen wahrscheinlich immer aus gefrorenem Wasser, das dann nicht mehr Bläschen, sondern unendlich feine Krystallnadeln bildet.

Die kleinen Wasserbläschen oder Eisnadeln einer Wolke sinken ihres geringen Gewichtes wegen zwar sehr langsam aber doch unaufhaltsam nieder; man sollte also meinen, daß jede Wolke sich nothwendig bis zur Erde herabsenken müßte. Trotzdem können wir zuweilen bei ganz ruhiger Luft eine Wolke sehr lange Zeit über unserem Haupte schweben sehen, ohne daß sie herunterkommt. Das hat seinen Grund darin, daß die niedersinkenden Wasserbläschen oder Eisnadeln in der Tiefe wärmere Luft finden, welche mehr Wasserdampf aufnehmen kann, als die höhere, kältere Luft; sie lösen sich deshalb beim Niedersinken wieder zu Dampf auf und verschwinden dadurch.

Scheidet sich Wasser aus der Luft in bedeutender Menge aus, so fließen schließlich die sich berührenden Bläschen zu Tropfen zusammen und diese fallen als Regen nieder oder es vereinigen sich die feinen Eistheile zu Flocken von Schnee. Häufig wird sich in höheren, kälteren Luftschichten Schnee bilden, der aber schmilzt, wenn er durch die wärmeren, unteren Schichten herunterfällt und als Regen zur Erde kommt.

Eine räthselhafte Erscheinung ist die Bildung der Schloßen (Graupeln) und des Hagels. Man kann unmöglich annehmen, daß Wassertropfen von der Größe der Schloßen oder gar der Hagelkörner, also Tropfen bis zu einem Durchmesser von mehreren Centimetern so lange in der Luft schweben sollten, wie nöthig wäre, damit sie durch Abkühlung auf gewöhnliche Weise gefrören. Höchst wahrscheinlich spielt die Ueberschmelzung des Wassers bei der Hagelbildung eine wichtige Rolle. Es ist gewiß, daß die Wasserbläschen der Wolken zuweilen unter 0° abgekühlt werden, ohne zu gefrieren; man hat sogar zuweilen das Herabfallen von Regen beobachtet, welcher aus überschmolzenem Wasser bestand und sofort gefror, als die Tropfen durch Aufschlagen auf starre Körper erschüttert wurden. Wenn nun über einer dicken Wolkenschicht, welche aus flüssigen, aber weit unter 0° abgekühlten Bläschen besteht, eine Schneewolke schwebt, aus welcher Flocken herab und in die erste Wolke hineinfallen, so werden diese Flocken jedes überschmolzene Bläschen das sie berühren, zum Gefrieren bringen; die Masse jedes solchen Bläschens wird sich an die Schneeflocke ansetzen und diese schwerer machen, so daß sie schneller und immer schneller niederfällt, indem sie alle Bläschen, welche sie trifft, mit sich zu einer Eismasse vereinigt.

Durch das Vorhandensein großer Massen von Wasserbläschen im Zustande der Ueberschmelzung erklärt sich, wie es möglich ist, daß überhaupt so große Eisstücke, wie die Hagelkörner in der Luft sich bilden können; Vieles aber, was bei der Hagelbildung in's Spiel kommt, — z. B. der Umstand, daß sich Hagel vorwiegend in der wärmeren Jahreszeit bildet und von Gewitter begleitet ist — ist noch durchaus unerklärt.

Noch ist unsere Kenntniß der Witterungserscheinungen sehr weit davon entfernt, einigermaaßen vollkommen zu sein — so weit, daß es sich noch nicht absehen läßt, ob man je im Stande sein wird, sich mit Erfolg an die Lösung der Aufgabe der Vorherbestimmung des Wetters zu machen.

Register.

(Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf den kleingedruckten Theil des Textes und auf die Anmerkungen.)

Aaronsstab 377.
Abkühlung der Luft durch Ausdehnung (514).
— durch Lösung starrer Körper 508.
— durch Verdampfung und Verdunstung 509.
Ablenkung des Lichtes durch Prismen 288.
— der Magnetnadel durch den galvanischen Strom 462.
Abplattung der Erde 99.
Abschmelzen der Glasröhren (18).
Absolute Festigkeit 108.
Absolutes Gewicht 30.
Absorbiren 204. 321.
Absorption der Gase durch starre Körper 204.
— — — durch tropfbare Körper 206.
Absorptionsvermögen f. Wärmestrahlen 499.
Abstoßung, elektrische 249.
— entgegengesetzt gerichteter Ströme 432.
— gleichnamiger Pole 440.
Acceleration 47.
Accommodationsvermögen 324.
Achromatisch (327).
Aderhaut 323.
Adhäsion 110.
— tropfbarer Körper 140.
Adhäsionsplatten 110.
Adiatherman.
Aeolus 175.
Aërodynamik 149.
Aërostatik 149.
Aether (Lichtäther) 258.
Aether (Schwefeläther), Entzündung desselben durch den elektrischen Funken 395.
Aetzkali (424).
Aggregatzustand 19.
Akustik 210.
Alaun, Krystallisiren desselben (146).
Allgemeine Eigenschaften der Körper 9.
Allgemeiner Auslader (398).
Alphabet, telegraphisches 449.
Amalgam (347).
Amalgamiren des Zinks (416).
Ammon (Ammoniak, Ammonium), kohlensaures (26).
— salpetersaures 509.
Ampère'sche Gesetze 432.
— Ströme 438.
Aneroïdbarometer 159.
Anhangskraft 110.
Anisometrische Projection (11).
Anker 444.
Anlassen des Stahls (71).
Anlauffarben des Stahls (71).
Anode 421.
Anordnung der Elektricität auf leitenden Körpern 366.
Anziehung, elektrische 346.
— entgegengesetzter Pole 440.
— gleichgerichteter Ströme 432.
Apparat 2.
Aräometer 135.
Arbeit, mechanische 38. 54.
Arbeitscontact 450.
Arbeitsinhalt 38.
— bewegter Körper 57.
Arbeitsvorrath 38.
Archimedisches Princip 131.
— — bei Gasen 149.
Asphaltlack (158).
Aspirator 175.
Astatische Doppelnadel 462.
Astronomisches Fernrohr 329.
Atherman 498.
Atmosphäre 16. 492.
Atmosphärische Elektricität 404.
— Niederschläge 513.
Atom 30.
Auffangen von Gasen (205).
Auflösung 145.
— der Gase 206.
— starrer Körper, Abkühlung durch 508.

Auftrieb 126. 131.
Auge 323.
— Fortdauer des Lichteindrucks im 340.
Ausdehnung 9.
— der Luft 20.
— — — bei abnehmendem Druck 186.
— — — Abkühluug durch (514).
— des Wassers beim Gefrieren 487.
— durch die Wärme 469. 476. 479. 482.
Ausdehnungscoefficient der Gase 482.
— cubischer der starren Körper 476.
— linearer der starren Körper 476.
— des Quecksilbers 482.
Ausdehnungskraft 19.
Ausgießen von tropfbaren Körpern (26).
Auslader 393.
— allgemeiner oder Henley'scher (398).
Ausmessung der Flächen 10.
— der Körper 11.
Ausscheidung der Metalle durch den galvanischen Strom 425.
Ausstrahlung, elektrische, durch Spitzen 368.
Austrocknen enghalsiger Gefäße (357).
Ausziehen der Glasröhren (30. 32).
Axe der Linse 294.
Axe des Spiegels 274.
Axendrehung der Erde, Beweis desselben 94.
Backen zum Gewindeschneiden (66).
Balanciren 78.
Ballonelement, Meidinger'sches 428.
Barium 316.
Barometer 156.
Barometerprobe 182.
Barometerstand, Reduction desselben (482).
Barometrische Höhenmessung 164.
Baroskop 185.
Bastardfeile (69).
Batterie, elektrische (397).
— galvanische 408.
Bauch (232).
Baumé's Aräometer 135.
Becherglas (505).
Beharrungsvermögen 38.
Beißzange (26).
Benetzung 142.
Bernstein 346.
Berührungselektricität 405.
Berzeliuslampe (18).
Beschleunigte Bewegung 46.
Beschleunigung 47.
— der Schwere 49.
Besponnener Leitungsdraht 413.
Bewegliche Rolle 62.
Bewegung 36.
— beschleunigte 46.
— erwärmter Luft 482.
Bewegung, gleichförmige 46.
— gleichmäßig beschleunigte 47.
— oscillirende 90.
— schwingende 90.
Bewegungsvorrichtung, elektromagnet. 445.
Biconcav 294.
Biconvex 293.
Bild, optisches 270.
— reelles 276.
— virtuelles 276.
Bittersalz 428.
Blasebalg, hydrostatischer 127.
Blasesprengen durch den Luftdruck 184.
Bleibacken (67).
Bleigewichte, Anfertigung derselben (31).
Blitz 404.
Blitzableiter 405.
Blitzröhre 377.
Bodendruck tropfbarer Körper 117.
Bogenfeile (121).
Bohren des Glases (34).
Bohrer (71).
Bohrrolle (71).
Bologneser Fläschchen 478.
Brechende Fläche 285.
— Flächen des Prisma 287.
— Kante 288.
Brechender Winkel 288.
Brechendes Mittel 285.
Brechung des Lichtes 285.
Brechungswinkel 286.
Brenner, Bunsen'scher (19).
Brennglas 498.
Brennpunkt 498.
— der Linse 294.
— des Hohlspiegels 278.
— negativer der Concavlinse 301.
— — des Convexspiegels 283.
Brennspiegel 278. 498.
Brennweite der Linse 294.
— des Hohlspiegels 278.
— negative der Concavlinse 301.
— — des Convexspiegels 283.
Brille 325.
Bunsen'scher Gasbrenner (19).
—'sches Element 414.
—'sches Photometer 266.
Caesium 317.
Canadabalsam (263).
Capillarität 143.
Capillarröhren 143.
Calorie 501.
Camera obscura 299.
Carbolsäure (422).
Cartesianischer Taucher 176.
Celsius'sche Scala 472.

Centesimalscala 472.
Centigrade 472.
Centigramm 31.
Centimeter 10.
Centimetermaßstab (158).
Centrifugalbahn 106.
Centrifugalgebläse 105.
Centrifugalkraft 94.
Centrifugalmaschine 95.
Centrifugaltrockenmaschine 104.
Chemische Harmonika (242).
— Wirkungen in der galvanischen Kette 426.
— Zersetzung durch den galvanischen Strom 421.
Chladni'sche Klangfiguren 236.
Chlorbarium 317.
Chlorcalcium 311.
Chlorlithium 310.
Chlorsaures Kali (Kalium) 394.
Chlorstrontium 317.
Coërcibles Gas 497.
Coërcitivkraft (457).
Cohäsion 19. 107.
— tropfbarer Körper 22.
Collodium (154).
Communicirende Gefäße 129.
— Röhren mit kalter und warmer Flüssigkeit 480.
Complementärfarbe 342.
Compressionspumpe 188.
Comprimiren 164. 188.
Concavconvex 294.
Concave Oberfläche tropfbarer Körper 143.
Concavlinse 294. 300.
Concavspiegel 274. (276).
Condensation des Dampfes 488.
Condensator, elektrischer 387. 406.
Conductor 351.
— der Elektrisirmaschine 371.
Consonant 250.
Consonanz 257.
Constante galvanische Kette 427.
Constantes Element 427.
Contact 450. 453.
Contactelektricität 405.
Continuirlich 312.
Contrastfarben 343.
Contrastwirkung 320.
Convexconcav 294.
Convexe Oberfläche tropfbarer Körper 143.
Convexlinse 293.
Convexspiegel 274. 282.
Crownglas 302.
Cubicmaß 11.
Cubischer Ausdehnungscoëfficient starrer Körper 476.
Cyan 307.
Cylinder der Luftpumpe 178.
Cylinderelektrisirmaschine 376.
Dädaleum (345).
Dampf 487.
— Condensation desselben 488.
— gesättigter 496.
— Reaction desselben 490.
— überhitzter 496.
— ungesättigter 496.
— Verdichtung desselben 488.
Dampfdruck 489. 491.
Dampfheizung 508.
Dampfstrahlpumpe 490.
Dasymeter 185.
Dauer des Entladungsfunkens 404.
Decigramm 30.
Decimeter 10.
Declination, magnetische 460.
Destillation 488.
Deltoid (86).
Diatherman 498.
Dichtigkeitsmaximum des Wassers 480.
Diffussion der Gase 207.
— — — durch poröse Wände 208.
— tropfbarer Körper 147.
Dimension 9.
Dissonanz 256.
Divergenz 359.
Divergiren 359.
Doppelkegel 82.
Doppelnadel, astatische 462.
Dorn (201).
Dosenlibelle 114.
Draht, umsponnener 413.
Drahtzange (21).
Drehung gekreuzter galvanischer Ströme 432.
Dreiseitiges Prisma 287.
Druck der Luft 154.
— — — in Gewicht ausgedrückt 160.
— des Dampfes 489. 491.
— rückwirkender der tropfbaren Körper 137.
— — des Dampfes 490.
— und specifisches Gewicht der Luft 163.
— — Volumen der Luft 162.
— Wärmeerzeugung durch 507.
Druckfortpflanzung in tropfbaren Körpern 115.
Druckpumpe 191. (195).
Drucktelegraph, Morse'scher 448.
Drummond'sches Kalklicht 319.
Dunkelkammer 299.
Duodecime 231.

Durchbohrung, elektrische des Glases (401).
— elektrische des Papiers 400.
Durchscheinend 260.
Durchschlag (44).
Durchsichtig 260.
Durchwärmig 498.
Dynamik 36.
Ebene, schiefe 63.
Echo 221.
Einfache Maschine 57.
Einfallsloth 269.
Einfallswinkel 269. 286.
Eingeschliffene Glasstöpsel, Losmachen derselben (478).
Eingetauchte Körper, Gewichtsverlust derselben 131.
Einseitiger Hebel 61.
Eis, specifisches Gewicht desselben 487.
Eisendraht, elektr. Verbrenn. desselb. (398).
Elasticität 109.
Elastisch 109.
Elektricität 346.
— Anordnung derselben auf leitenden Körpern 366.
— atmosphärische 404.
— durch Berührung 405.
— Durchgang derselben durch verdünnte Luft 399.
— freie 356.
— gebundene 356.
— Geschwindigkeit derselben 403. 447.
— negative 349.
— positive 349.
— Wirkung derselben auf Wasserstrahlen 365.
Elektricitäten, entgegengesetzte 349.
Elektrisch 346.
Elektrische Abstoßung 349.
— Anziehung 346.
— Batterie (397).
— Durchbohrung des Glases (401).
— — des Papiers 400.
— Entzündung des Aethers 395.
— — des Gases 396.
— — starrer Körper 394.
— Erschütterung der Luft 403.
— — tropfbarer Körper 401.
— Klingel 252 (255).
— Spannung 367.
— Spitzenwirkung 368.
— Verbrennung des Eisendrahtes (398).
— — des Stanniols (398).
— Vertheilung 353.
Elektrischer Condensator 387. 406.
— Funke 350. 398.
— — Erwärmung durch denselben 394.
Elektrischer Kugeltanz 380.
— Mörser 394.
— Strom, siehe „Entladungsstrom, galvanischer Strom und Inductionsstrom."
— Wind 378.
Elektrisches Flugrad 379.
— Glockenspiel 380.
— Kohlenlicht 420.
— Netz (371).
— Pendel (347).
Elektrisiren 347.
Elektrisirmaschine 371.
Elektrode 421.
Elektrolyse 421.
— des Wassers 422.
Elektrolytisches Knallgas (424).
Elektromagnet 439.
Elektromagnetische Bewegungsvorrichtung 445.
— Telegraphie 447.
Elektromagnetismus 437. 439.
Elektromotorische Kraft 405.
Elektron 346.
Elektrophor 361.
Elektroskop, Goldblatt- 356.
Element, Bunsen'sches 414.
— constantes 427.
— galvanisches 408.
— Grove'sches 414.
— Meidinger'sches 427.
Emissionsvermögen 499.
Enghalsige Gefäße, Austrocknen derselben (357).
Entgegengesetzte Elektricitäten 349.
— Pole, Anziehung derselben 440.
— Ströme, Abstoßung derselben 432.
Entladungsfunke, Dauer desselben 404.
Entladungsstrom 394.
— Erwärmung guter Leiter durch denselben 397.
— Geschwindigkeit desselben 403.
— Magnetisiren durch denselben 403.
— Wirkungen desselben 394.
Entzündung durch den elektrischen Funken 394.
— elektrische des Aethers 395.
— — des Gases 396.
— — starrer Körper 394.
Erde, Abplattung derselben 99.
— Beweis ihrer Axendrehung 94.
— magnetische Pole derselben 460.
Erdleitung 450.
Erdmagnetismus 460.
— magnetische Vertheilung durch denselben 461.
Erschütterung, elektrische der Luft 403.

Erschütterung, elektrische, tropfbarer Körper 401.
Erstarren 484.
— Volumenänderung beim 486.
Erstarrungspunkt 484.
Erwärmen, Kreislauf tropfbarer Körper beim 480.
Erwärmung durch d. elektrischen Funken 394.
— — den galvanischen Strom 419.
— guter Leiter durch den Entladungsstrom 397.
Evacuiren 180.
Expansion 19.
Experiment 2.
Fahrenheit'sche Scala (473).
Fall 45.
— im leeren Raume. 187.
Falllinie 77.
Fallmaschine 39. (43).
Farbenscheibe 340.
Farbenzerstreuung 302.
Federkraft 109.
Feilen (69).
Feilholz (69).
Feilkloben (67).
Fernrohr 326.
— astronomisches 329.
— Galilei'sches 330.
— terrestrisches 330.
Feste Körper, siehe „starre Körper".
— Rolle 62.
Festigkeit, absolute 108.
— relative 108.
Feuerspritze 192.
Feuerzeug, pneumatisches 507.
Filter (172).
Finsterniß der Sonne und des Mondes 263.
Flachzange (21).
Fläche, brechende 285.
Flächen, brechende, des Prisma 287.
Flächenmaß 10.
Fläschchen, Bologneser 478.
Flammenzeiger 250.
Flasche, Kleist'sche 388.
— Leydner 388.
— Mariotte'sche 173.
Flaschenzug 63.
Flintglas 302.
Flötenpfeife 244.
Flourſmirgel (111).
Flüssige Körper, Flüssigkeiten, siehe „tropfbare Körper."
Flüssigkeit, wässerige des Auges 324.
Flüssigkeitshäutchen 22.
Flüssigkeitsspiegel 113.
Flugrad, elektrisches 379.
Focus der Linse 294.
— des Spiegels 278.
Fortdauer des Lichteindrucks im Auge 340.
Fortpflanzung des Schalles 215.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Entladungsstromes 403.
— des galvanischen Stromes 447.
— des Lichtes 259.
Fortschreitende Wellen 240.
Foucault's Pendelversuch 94.
Franklin'sche Tafel 388.
Französischer Heber 168.
Fraunhofer'sche Linien 318.
Freie Elektricität 356.
Freiwerden der Wärme 505.
Fuchsinlösung (28).
Funke, elektrischer 350. 398.
— — Erwärmung durch denselben 394.
Funkenring 376.
Galilei'sches Fernrohr 330.
Galvani 405.
Galvanische Batterie 408.
— Kette, chemische Wirkungen in derselben 426.
— Kette, constante 427.
— — einfache 408.
— — Schließung derselben 409.
— — zusammengesetzte 408.
— Säule 408.
— Ströme, entgegengesetzt gerichtete, Abstoßung derselben 432.
— — gekreuzte, Drehung derselben 432.
— — gleichgerichtete, Anziehung derselben 432.
— Vergoldung und Versilberung 430.
— Wasserzersetzung 422.
Galvanischer Multiplicator 464.
— Strom 410.
— — Ablenkung der Magnetnadel durch denselben 462.
— — Ausscheidung der Metalle durch denselben 425.
— — chemische Zersetzung durch denselben 421.
— — Erwärmung durch denselben 419.
— — Fortpflanzungsgeschwindigkeit desselben 447.
— — Leitungsfähigkeit verschiedener Stoffe für denselben 410.
— — Wirkung desselben auf die Geschmacksnerven 418.
Galvanisches Element 408.
Galvanismus 405.
Galvanoplastik 431.
Gas, coërcibles.

Gas, Entzündung desselben durch den elektrischen Funken 396.
— permanentes 497.
Gasbrenner, Bunsen'scher (19).
Gase, Absorption derselben durch starre Körper 204.
— — derselben durch tropfbare Körper. 206
— Archimedisches Princip bei denselben 149.
— Auffangen derselben (205).
— Auflösung in tropfbaren Körpern 206.
— Ausdehnung durch die Wärme 482.
— Ausdehnungscoëfficient derselben 482.
— Diffussion derselben 207.
— — derselben durch poröse Wände 208.
— rückwirkender Druck derselben 196.
— specifische Gewichte derselben 483.
— Schwingungen derselben 240.
— Wärmeleitungsfähigkeit derselben 500.
Gasentwickelungsapparat (152).
Gasflammenmanometer 250.
Gasgraphit (418).
Gebundene Elektricität 356.
— Wärme 504.
Gedackte Orgelpfeife 245.
Gefäße, Austrocknen enghalsiger (357).
— communicirende 129.
Gefrieren 484.
— Ausdehnung des Wassers beim 487.
Gefrierpunkt 484.
— am Thermometer 472.
Gegenmutter 39. (446).
Geißler'sche Röhren (400). 486.
Gekreuzte galvanische Ströme, Drehung derselben 432.
Geräusch 222.
Gesättigter Dampf 496.
Geschmacksnerven, Wirkung des galvanischen Stromes auf dieselben 418.
Geschwindigkeit der Elektricität 403. 447.
— des Entladungsstromes 403.
— — galvanischen Stromes 447.
— — Lichtes 259.
— — des Schalles 215.
Geschwindigkeitshöhe 57.
Gesetz, Mariotte'sches 161.
Gesetze, Ampère'sche 432.
Gewicht, absolutes 30.
— der Luft 149. 185.
— specifisches 34. 481.
— — der Gase 483.
Gewichte (31).
Gewichtsverlust eingetauchter Körper 131.
Gewindbohrer (66).
Giftheber 169.
Glas, elektrische Durchbohrung desselben (401).
Glasbohren (34).
Glaskörper 324.
Glaslinse 293.
Glasmesser (18).
Glasröhren, Abschmelzen ihrer Ränder (18).
— Ausziehen derselben (30. 32).
— Zerschneiden derselben (18).
Glasschleifen (111. 119).
Glassprengen (15).
Glasstöpsel, Losmachen eingeschliffen. (478).
Glasthränen 478.
Glaubersalz, Elektrolyse desselben 421.
Gleichförmige Bewegung 46.
Gleichgerichtete galvanische Ströme, Anziehung derselben 432.
Gleichgewicht 76.
— der Gase 149.
— indifferentes 77.
— in einer Fläche unterstützter Körper 83.
— in zwei Punkten unterstützter Körper 79.
— labiles 77.
— stabiles 74.
— tropfbarer Körper 113.
Gleichnamige Elektricitäten, Abstoßung derselben 349.
— Pole, Abstoßung derselben 440.
Gleichstimmen zweier Töne (230).
Glocke 238.
Glockenspiel, elektrisches 380.
Glycerinflüssigkeit (25).
Goldblattelektroskop 356.
Goldschlägerhaut (154. 252).
Grad (53.) 472.
Gramm 30. 481.
Graphit (431).
Grat (67).
Große Terz 225.
Grove'sches Element 414.
Grundton 225.
Gute Leiter, Erwärmung derselben durch den Entladungsstrom 397.
— Wärmeleiter 499.
Gyps, gebrannter (112).
Gypsgießen (112).
Haarröhrchen 143.
Haarröhrchenwirkung 143.
Härte 108.
Härten des Stahls (70).
Härtescala (108).
Hagel 515.
Halbkugeln, Magdeburger 183.
Halbschatten 262.
Harmonika, chemische (242).
Harmonische Obertöne 232.
Hartmeisel (121).
Harzkitt (270).

Haspel 59.
Hauchbilder 206.
Haustelegraph 252.
Hebel 60.
— einseitiger 61.
— zweiseitiger 61.
Heber 167.
— französischer 168.
— im luftleeren Raume 186.
— unterbrochener 174.
Heberbarometer 158.
Henley'scher Auslader (398).
Heronsball 164.
Heronsbrunnen 164.
Hirnseite des Holzes (70).
Hirschhornsalz (26).
Höhenmessung mit dem Barometer 164.
Hörrohr 218.
Holostericbarometer 159.
Holzkohle, Bereitung derselben (205).
Hohlspiegel 274.
— Herstellung derselben (276).
Homogen 78.
Horizontal 30.
Hornhaut 323.
Hufeisenelektromagnet 443.
Hydraulische Presse 115.
Hydrodynamik 113.
Hydrostatik 113.
Hydrostatischer Blasebalg 127.
Inclination, magnetische 461.
Indig 307.
Indium 317.
Inducirend 464.
Inducirt 464.
Induction 464.
Inductionsapparat 465.
Inductionsspirale 465.
Inductionsstrom 465.
Influenz 355.
Influenzelektricität erster Art 355.
— zweiter Art 355.
Injector 490.
Instrumente, optische 326.
Intervall 225.
Iris 324.
Isolator 352.
Isoliren 352.
Isolirstuhl 382.
Joujou 75.
Jupitermondfindernisse 259.
Kälte 469.
Kälteerzeugung durch Lösung starrer Körper 508.
— durch Verdampfung und Verdunstung 509.
Kältegrade 473.
Kältemischung 509.
Kaleidoskop 272.
Kali (424).
— (Kalium), chlorsaures 394.
— — kohlensaures (312).
Kalklicht, Drummond'sches 319.
Kaltwasserschwimmer 479.
Kanonenbohrer (72).
Kante, brechende 288.
Kathode 421.
Kautschuckschlauch (20).
Kegelventil 189.
Kehlkopf 248.
Keil 63.
Kernschatten 262.
Kette, galvanische, chemische Wirkung in derselben 426.
— galvanische, constante 427.
— — einfache 408.
— — Schließung derselben 409.
— — zusammengesetzte 408.
Kilogramm 30.
Kilogrammeter 54.
Kitten mit Siegellack (111).
Klang 235.
Klangfarbe 235.
Klangfiguren, Chladni'sche 236.
Klappenventil 189.
Kleine Terz 225.
Kleist'sche Flasche 388.
Klemmschraube (410).
Klingel, elektrische 252. (255).
Kluppe (65).
Knallgas, elektrolytisches (424).
Knallkugel (489).
Knoten 230.
Knotenlinie 236.
Kochgestell (476).
Körner (69).
Körper, allgemeine Eigenschaften derselben 9.
— Ausdehnung derselben durch die Wärme 469.
— feste (siehe starre Körper) 14. 39.
— gasige (siehe Gase) 19. 149.
— tropfbare (siehe tropfbare Körper) 16. 113.
Kohlenlicht, elektrisches 420.
Kohlensäure, Absorption derselben durch Holzkohle 204.
— Absorption derselben durch Wasser 207.
Kohlensaures Ammoniak (26).
— Kali, Kalium (312).
— Lithion, Lithium 310.
Kolben der Luftpumpe 178.
Korkbohrer (14).
Korkpfropfen, Behandlung derselben (14).

Kraft 39.
Kraft, elektromotorische 405.
Kreislauf erwärmter Flüssigkeiten 480.
Kreuzmeisel (122).
Kröseln (111).
Krümmungshalbmesser 274.
Krümmungsmittelpunkt 274.
Krümmungsradius 274.
Kryophor 511.
Krystall 146.
Krystallisiren 146.
Krystalllinse 324.
Kühlapparat 488.
Kugeltanz, elektrischer 380.
Kupfer, Ausscheidung durch den galvanischen Strom 425. 430.
(—) Kupferoxyd, schwefelsaures 147.
Kupferbacken (67).
Kupferdraht, umsponnener 413.
Kupfervitriol 147.
Kupfervitriollösung, Diffussion derselben 147.
Kurz 109.
Kurzsichtigkeit 325.
Länge und Schwingungszahl der Saiten 230.
Längenausdehnungscoëfficient starrer Körper 476.
Latente Wärme 504.
Lebensrad (345).
Leere, Toricelli'sche 159.
Legirung (276).
Legirungen, Schmelzpunkte der 486.
Leidenfrost'scher Versuch 494.
Leim, Leimen (81).
Leiter, Anordnung der Elektricität auf ihnen 366.
— elektrische 351.
Leitschaufelrad (140).
Leitung der Wärme 499.
Leitungsdraht, umsponnener 413.
Leitungsfähigkeit verschiedener Stoffe für den galvanischen Strom 410.
Leuchtgas 150.
Leydner Flasche 388.
Libelle 114.
Licht 258.
— Geschwindigkeit desselben 259.
Lichtbrechende Fläche 285.
Lichtbrechung 285.
Lichteindruck, Fortdauer desselben im Auge 340.
Linearer Ausdehnungscoëfficient starrer Körper 476.
Linien, Fraunhofer'sche 318.
Linksgängige Schraube 64.
Linse 293.
Linsenbilder 295.
Linsenbilder, Beobachtung derselben (297).
Liter 13.
Lithion, Lithium, kohlensaures 310.
Lithium 310.
Lochsäge (291).
Löslichkeit 145.
— der Gase in tropfbaren Körpern 206.
Lösung 145.
— starrer Körper, Abkühlung durch 508.
Löthen (26).
Löthrohr (120).
Löthwasser (26).
Lorgnonstereoskop (339).
Losmachen eingeschliffener Glasstöpsel (478).
Luft, Abkühlung derselben durch Ausdehnung (514).
— Ausdehnung derselben 20.
— Bewegung der erwärmten 483.
— Durchgang der Elektricität durch verdünnte 399.
— elektrische Erschütterung derselben 403.
— Gewicht derselben 149. 185.
— Zusammendrückbarkeit derselben 16.
Luftartige Körper, siehe „Gase".
Luftdruck 154.
— Messung desselben 156.
— — desselben nach Gewicht 160.
Luftelektricität 404.
Luftpumpe 178.
Luftstoßapparat 219.
Lupe (299). 326.
Magdeburger Halbkugeln 183.
Magnesia, schwefelsaure (Magnesium, schwefelsaures) 428.
Magnet 457.
— natürlicher 459.
— permanenter 457.
Magneteisenerz 459.
Magnetinductionsapparat 465.
Magnetisch 438.
Magnetische Declination 460.
— Inclination 461.
— Pole der Erde 460.
— Vertheilung 443.
— — durch den Erdmagnetismus 461.
Magnetisiren durch d. Entladungsstrom 404.
— durch Streichen 458.
Magnetismus 457.
Magnetnadel 459.
— Ablenkung derselben durch den galvanischen Strom 462.
Magnetpol 439.
Mariotte'sche Flasche 173.
—'sches Gesetz 161.
Maschinen, einfache 57.

Maßgefäße (32).
Maßstab (158).
Materie 13.
Mechanik 36.
Mechanische Arbeit 38. 54.
Mechanisches Aequivalent der Wärme (507).
Meidinger'sches Element 427.
Meisel (121).
Meiseln (121).
Meniscus (33).
Mennige (112).
Messung des Luftdrucks (156).
Metall, Wood'sches 486.
Metalle, Ausscheidung derselben durch den galvanischen Strom 425.
Metallbarometer 159.
Metallbohrer (71).
Metallne Zungen 247.
Metallsäge (121).
Metallsägeblatt (121).
Meteor 512.
Meteorologie 512.
Meter 9.
Meterkilogramm 54.
Mikroskop 326. (328).
Milligramm 31.
Millimeter 10.
Mißklang 256.
Mittel, brechendes 285.
— stärker lichtbrechendes 287.
Mörser, elektrischer 394.
Molekül 30.
Molekularkraft 108.
Molekurverhältnisse der Gase 204.
— starrer Körper 107.
— tropfbarer Körper 140.
Mondfinsterniß 264.
Monochord 228.
Morse'scher Druck- oder Schreibtelegraph 448.
— Schlüssel oder Taster 450.
Multiplicator, galvanischer 464.
Natrium 310.
Natrium (Natron), schwefelsaures, Elektrolyse desselben 421.
— unterschwefligsaures 485.
Natriumlinie, Umkehrung derselben 321.
Natürlicher Magnet 459.
Nebel 488. 513.
Negative Brennweite der Concavlinse 301.
— — des Convexspiegels 283.
— Elektricität 349.
Negativer Brennpunkt der Concavlinse 301.
— — des Convexspiegels 283.
— Pol der galvanischen Kette 408.
Netz des Würfels (80).
Netz, elektrisches (371).
Netzhaut 324.
Newton'sches Spiegelteleskop 335.
Nichtbenetzung 142.
Nichtleiter, elektrische 352.
Niederschlag, wäßriger, atmosphärischer 513.
Niveau 113.
Nordpol 439.
Normaler Siedepunkt 474.
Oberfläche, concave und convexe tropfbarer Körper 143.
Obertöne, harmonische 232.
Objektiv 299. 326.
Octave 225.
Ocular 326.
Oeffnungsstrom 465.
Oelstein (74).
Oeltropfen, schwebender 15.
Optik 258.
Optische Täuschungen 345.
Optisches Bild 270.
— Instrument 326.
— Prisma 287.
Orgelpfeife 244.
— gedackte 245.
Oscillirende Bewegung 90.
Ozon (349).
Papier, elektrische Durchbohrung desselben 400.
Pappe, Schneiden derselben (81).
Parabel 52.
Parallelschraubstock (44).
Pariser Roth (112).
Partiale Sonnenfinsterniß 263.
Pause 255.
Pendel 89.
— elektrisches (347).
— Schwingungszeit desselben 90. 92.
Pendelschlag 92.
Pendelversuch, Foucault'scher 94.
Permanenter Magnet 457.
Permanentes Gas 497.
Phänakistoskop 343.
Photometer, Bunsen'sches 266.
— Rumford'sches 265.
Photometrie 265.
Pincette (27).
Pipette 15. 170.
Planconcav 294.
Planconvex 293.
Platten, Schwingungen derselben 236.
Pneumatisches Feuerzeug 507.
Pol, galvanischer 408.
— magnetischer 439.
— negativer und positiver 408.

Pole, Abstoßung gleichnamiger 440.
— Anziehung entgegengesetzter 440.
— magnetische der Erde 460.
Politur (352).
Polschraube (415)
Poren 28.
Porosität 27.
Positive Elektricität 349.
Positiver Pol 408.
Potasche 316.
Presse, hydraulische 115.
Primäre Spirale 465.
Primärer Strom 465.
Princip, Archimedisches 131.
— der virtuellen Geschwindigkeiten (61).
Prisma, dreiseitiges 287.
— optisches 287.
Prismenablenkung 288.
Probekügelchen 361.
Probescheibchen (364).
Probirglas (32).
Projection, anisometrische (11).
Pupille 324.
Quadrat einer Zahl 47.
Quadratmaß 10.
Quarte 225.
Quecksilber, Ausdehnungscoëfficient desselben 482.
— Behandlung desselben (142).
Quecksilberbarometer 156.
Quecksilberregen 184.
Quecksilberwanne (158).
Quetschhahn (21).
Quinte 225.
Rattenschwanz (14).
Raum, schädlicher 181.
Raumerfüllung 13.
Raummaß 11.
Reaction der Gase 196.
— der tropfbaren Körper 137.
Reactionsrad 137.
— durch Dampf getrieben 490.
Réaumur'sche Scala 472.
Rechtsgängige Schraube 64.
Recipient 180.
Reduction des Barometerstandes (482).
Reelles Bild 276.
Reflector 335.
Reflexion 220. 268.
Reflexionsvermögen 499.
Reflexionswinkel 269.
Refraction 285.
Refractor 329.
Regen 515.
Regenbogenhaut 324.
Reibahle (74).
Reiber 371.
Reibung, Wärmeerzeugung durch 506.
Reibungselektricität 346.
Reibzeug 371.
Reif 513.
Reiter (232).
Relative Festigkeit 108.
Resonanz 232.
Resonanzboden 215.
Retorte 16.
Retortenhalter (24).
Rheoskop 464.
Ringförmige Sonnenfinsterniß 263.
Röhren, Geißler'sche (400). 468.
Röhrenlibelle 114.
Rolle 61.
Rolle, bewegliche 62.
— feste 62.
Roth, Pariser (112).
Rubidium 317.
Rückwirkender Druck der Gase 196.
— — tropfbarer Körper 137.
Ruhe 36.
Ruhecontact 450.
Rumford'sches Photometer 265.
Saiten, Länge und Schwingungszahl derselben 230.
— Schwingungen derselben 227.
Salpeter, Krystallisiren desselben 146.
Salpetersäure (398).
Salpetersaurer Strontian (salpetersaures Strontium) 317.
Salpetersaures Ammon (Ammoniak, Ammonium) 509.
Salpetrige Säure (417).
Sammellinse 293.
Sammelspiegel 274. (276).
Säule, galvanische 408.
Säure, salpetrige (417).
Saugerscheinungen bei Gasen 201.
— bei tropfbaren Körpern 199.
Saugkamm 371.
Saugpumpe 190. (192).
Saugwirkung, elektrische der Spitzen 370.
Scala 472.
— Celsius'sche 472.
— Centesimal= 472.
— Fahrenheit'sche (473).
— Réaumur'sche 472.
Schädlicher Raum 181.
Schall 211.
Schallbecher 248.
Schallfortpflanzung 215.
— durch starre Körper 215.
Schallgeschwindigkeit 215.
Schallröhren 218.

Schatten 261.
Scheibe, stroboskopische 343.
Scheibenelektrifirmaschine 371.
Schellack, Schellackfirniß (352).
Schiefe Ebene 63.
Schlag (Akustik) 255.
— des Pendels 92.
Schlauch, Kautschuk- (20).
Schlechte Wärmeleiter 499.
Schleudermaschine 104.
Schlichtfeile (69).
Schließung der galvanischen Kette 409.
Schließungsbogen 410.
Schließungsstrom 465.
Schloßen 515.
Schlüssel, Morse'scher 450.
Schmelzen 484.
— Volumenänderung beim 486.
Schmelzpunkt 484.
Schmelzpunkte der Legirungen 486.
Schnee 515.
Schneiden der Pappe (81).
— der Schrauben (65).
Schneidkluppe (65).
Schnellloth (25).
Schraube 64.
— linksgängige 64.
— rechtsgängige 64
Schraubenflieger 197.
Schraubenkluppe (65).
Schraubenmutter 64.
Schraubenquetschhahn (175).
Schraubenrad in Luft 196.
— in Wasser 139.
Schraubenschneiden (65).
Schraubenspindel 64.
Schraubstock (44).
Schreibhebel 449.
Schreibtelegraph, Morse'scher 448.
Schublehre (67).
Schweben untergetauchter Körper 133.
Schwebungen (230). 255.
Schwefeläther, Entzündung desselben durch den elektrischen Funken 395.
Schwefelantimon 394.
Schwefelkohlenstoff 302.
Schwefelkohlenstoffprisma, Herstellung desselben (303).
Schwefelsaure Magnesia (schwefelsaures Magnesium) 428.
Schwefelsaures Kupfer (Kupferoxyd) 147.
— Natrium (Natron), Elektrolyse desselben 421.
— Zink (Zinkoxyd) (154).
Schwere 30.
— Beschleunigung derselben 49.
Schwere der Luft 149.
Schwerkraft 30. 39.
Schwerpunkt 77.
Schwimmen 134.
— in verschiedenen Flüssigkeiten 134.
Schwingende Bewegung 90.
Schwingungen der Gase 240.
— der Glocken 238.
— der Platten 236.
— der Stäbe 239.
Schwingungsknoten 230.
Schwingungszahl 223.
— und Länge der Saiten 230.
Schwingungszeit 222.
— des Pendels 90. 92.
Schwungmaschine 95.
Secundäre Spirale 465.
Secundärer Strom 465.
Secundenpendel 92.
Secundenschläger 35. (45).
Sehaxe 325.
Sehnerv 324.
Sehweite 325.
Seifenwasserhäutchen 22.
Senkwage 135.
Sieden 487.
— bei niedrigem Druck 493.
Siedepunkt 493.
— am Thermometer 472.
— normaler 474.
Siedeverzug 495.
Siegellack, Kitten mit demselben (111).
Sinnesorgane 210.
Sinnestäuschungen 210.
Sinneswahrnehmungen 210.
Sinneswerkzeuge 210.
Sirene 223.
Smirgel (70).
Smirgelholz (71).
Smirgelpapier (71).
Smirgelsorten (111).
Sonne, Beschaffenheit derselben 322.
Sonnenfinsterniß 263.
Sonnenlicht, Spectrum desselben 317.
Spannkraft des Dampfes 491.
Spannstift (66).
Spannung, elektrische 367.
Specifische Gewichte 35.
— Wärme 501.
Specifisches Gewicht 34. 481.
— — Bestimmung desselben 34.
— — Bestimmung desselben nach dem Archimedischen Princip 131.
— — der Gase 483.
— — des Eises 487.
— — und Druck der Luft 163.

Spectralanalyse 313.
Spectralapparat 313.
Spectrallinien 316.
— Fraunhofer'sche 318.
— Umkehrung derselben 319.
Spectroskop 313.
Spectrum 303.
— des Sonnenlichtes 317.
Sperrhorn (45).
Sphärischer Spiegel 273.
Sphäroidaler Zustand 494.
Spiegel der tropfbaren Körper 113.
— ebener 270.
— sphärischer 273.
Spiegelteleskop, Newton'sches 335.
Spiegelung des Lichtes 268.
Spirale, primäre 465.
— secundäre 465.
Spitzenwirkung, elektrische 368.
Sprachrohr 219.
Sprengen einer Blase durch Luftdruck 184.
Sprengkohle (15).
Springbrunnen 136.
Spritzflasche (32).
Sprödigkeit 109.
Stabilität 84.
Stäbe, Schwingungen derselben 239.
Stärker lichtbrechend 287.
Stahl, Anlassen desselben (71).
— Anlauffarben desselben (71).
— Härten desselben (70).
— Weichmachen desselben (69).
Standfestigkeit 84.
Stanniol (347).
— elektrische Verbrennung desselben 398.
Starre Körper 14.
— — elektrische Entzündung derselben 394.
— — Molekularverhältnisse derselben 107.
— — Wärmeleitungsfähigkeit derselben 499.
Statik 36.
Stechheber 15. 170.
Steg (228).
Stehende Wellen 240.
Stereoskop 337.
Stichflamme (120).
Stiefel der Luftpumpe 178.
Stimmbänder 248.
Stimmgabel 239.
Stimmorgan 248.
Stimmritze 248.
Stoß (Akustik) (230). 255.
— Wärmeerzeugung durch denselben 507.
Strahlung der Wärme 497.
Streichen, Magnetisiren durch 458.
Stroboskopische Scheibe 348.
Ströme, Ampère'sche 438.
— galvanische, Abstoßung, Anziehung und Drehung derselben 432.
Strom, elektrischer, siehe „Entladungsstrom, galvanischer Strom und Inductionsstrom".
Strom galvanischer 410.
— — Ablenkung der Magnetnadel durch denselben 462.
— — chemische Zersetzung durch denselben 421.
— — Erwärmung durch denselben 419.
— — Fortpflanzungsgeschwindigkeit desselben 447.
— — Wirkung desselben auf die Geschmacksnerven 418.
— primärer 465.
— secundärer 465.
Strontian, salpetersaurer; Strontium, salpetersaures 317.
Strontium 316.
Sturzflasche 172.
Südpol 439.
Tafel, Franklin'sche 388.
Tangente (95).
Taster 450. 453. (457).
Taucher, Cartesianischer 176.
— nicht wieder aufsteigender 177.
Täuschung, optische 345.
Telegraph, elektromagnetischer 448.
Telegraphie, elektromagnetische 447.
Telegraphisches Alphabet 449.
Teleskop 326.
Temperatur 469.
Terpentin (363).
Terrestrisches Fernrohr 330.
Terz, große 225.
— kleine 225.
Thallium 317.
Thau 513.
Theilbarkeit 29.
Thermometer 471.
Thermometergrad 472.
Thermometerscala 472.
— Celsius'sche 472.
— centesimale 472.
— Fahrenheit'sche (473).
— Réaumur'sche 472.
Thonzelle 414.
Tiegelzange (291).
Töne, Gleichstimmen zweier (230).
Ton 222.
Tonica 225.
Toricelli'sche Leere 159.
Totale Sonnenfinsterniß 263.
Trichterröhre (152).

Tropfbare Körper 16.
— — Adhäsion derselben 140.
— — Auftrieb derselben 126.
— — Ausdehnung desselben durch die Wärme 479.
— — Bewegung derselben 113. 136.
— — Bodendruck derselben 117.
— — Diffusion derselben 147.
— — Druckfortpflanzung in denselben 115.
— — elektrische Erschütterung derselben 401.
— — Erwärmung derselben durch den galvanischen Strom 421.
— — Gleichgewicht derselben 113.
— — Kreislauf derselben beim Erwärmen 480.
— — Molekularverhältnisse derselben 140.
— — von verschiedener Temperatur in communicirenden Röhren 480.
— — Wärmeleitungsfähigkeit derselben 500.
Tubulus (153).
Turbine, Henschel'sche (140).
Ueberhitzter Dampf 496.
Ueberschmelzung 484.
Umkehrung der Natriumlinie 321.
— der Spectrallinien 319.
Umkehrungslinse 330.
Umsponnener Leitungsdraht 413.
Undurchdringlichkeit 13.
Undurchsichtig 260.
Undurchwärmig 498.
Ungesättigter Dampf 496.
Unterbrochener Heber 174.
Unterschwefligsaures Natrium, Natron 485.
Uranglas (400).
Ventil 189.
Ventilator 105.
Ventilsitz 189.
Verbrennung 506.
— elektrische des Eisendrahtes (398).
— — des Stanniols (398).
Verdampfung 487.
— Abkühlung durch dieselbe 509.
Verdichtung des Dampfes 488.
Verdünnte Luft, Durchgang der Elektricität durch dieselbe 399. 468.
Verdunstung 487.
— Abkühlung durch dieselbe 509.
Verfinsterung der Jupitermonde 259.
— der Sonne und des Mondes 263.
Vergoldung, galvanische 430.
Vergrößerungsglas (298).
Verkehrtschwimmer 177.
Versenkfräser (412).
Versilberung, galvanische 430.
Verstärkungsbatterie (397).
Verstärkungsflasche 388.
Vertheilung, elektrische 353.
— magnetische 443.
— — durch den Erdmagnetismus 461.
Vertical 30.
Virtuelles Bild 276.
Vocal 248.
Volumen 11.
— und Druck der Luft 162.
Volumenänderung beim Erstarren und Schmelzen 486.
Volumenbestimmung nach dem Archimedischen Princip 132.
Wärme 469.
— Ausdehnung der Gase durch dieselbe 482.
— — der Körper durch dieselbe 469.
— — tropfbarer Körper durch dieselbe 479.
— — starrer Körper durch dieselbe 476.
Wärme, Freiwerden derselben 505.
— gebundene 504.
— latente 504.
Wärmeäquivalent, mechanisches 507.
Wärmebindung 504.
Wärmecapacität 501.
Wärmeeinheit 501.
Wärmeerzeugung durch chemische Vorgänge 506.
— — durch Druck und Stoß 507.
— — Reibung 506
— — Zusammenpressung der Gase 507.
Wärmeleiter, gute und schlechte 499.
Wärmeleitung 499.
Wärmeleitungsfähigkeit der Gase 500.
— starrer Körper 499.
— tropfbarer Körper 500.
Wärmestrahlung 497.
Wässerige Flüssigkeit des Auges 324.
Wässeriger Niederschlag, atmosphärischer 513.
Wage (31). 85. (89).
Wasser, Ausdehnung desselben beim Gefrieren 487.
— Dichtigkeitsmaximum desselben 480.
— Elektrolyse desselben 422.
Wasserbad (81).
Wasserbarometer 156.
Wasserblei (431).
Wasserhammer 485. 492.
Wasserleitung (169).
Wasserpumpen 189.
Wasserschraube 139.
Wasserstoff, Wasserstoffgas 150.

Wasserstoff, Darstellung desselben (151).
Wasserstoffentwicklungsapparat (152).
Wasserstrahl, Wirkung der Elektricität auf denselben 365.
Wasserwage 113.
Wasserzersetzung durch den galvanischen Strom 422.
Wasserzersetzungsapparat 422.
Weiche Zungen 247.
Weichloth, so viel wie Schnellloth.
Weichmachen des Stahls (69).
Weingeistlampe (18).
Weitsichtigkeit 325.
Wellen, fortschreitende 240.
— stehende 240.
Wellenbewegung 211.
Wellrad 58.
Wind 484. 513.
— elektrischer 378.
Winde 59.
Windeisen (67).
Windkessel 192.
Winkel, brechender 288.
Winkelmessung (53).
Wirkung der Elektricität auf Wasserstrahlen 365.
Wirkungen des Entladungsstromes 394.
— des galvanischen Stromes 418.
Witterungserscheinungen 512.
Wohlklang 257.
Wolke 513.
Wolkenbildung, Nachahmung derselben (514).
Wood'sches Metall 486.
Würfelnetz 80.
Wurf, seitlicher 52.
— senkrecht nach oben 50.
— — nach unten 49.
Wurflinie 52.
Zähigkeit 109.
Zargé 95.
Zaubertrichter 171.
Zerbrechungsfestigkeit 108.
Zerreißungsfestigkeit 108.
Zersetzung, chemische, durch den galvanischen Strom 421.
Zersteubungsapparat 204.
Zerstreuungslinse 294.
Zerstreuungspunkt der Concavlinse 301.
— des Convexspiegels 283.
Zink, Amalgamiren desselben (416).
Zinkoxyd 426.
Zinkoxyd (Zink), schwefelsaures (154).
Zinkvitriol (154).
Zinnasche (398).
Zinnfolie (347).
Zinnoxyd (398).
Zoëtrop (345).
Zug 483.
Zunge (Akustik) 247.
Zurückwerfung der Wellen 220.
— des Lichtes 268.
Zusammendrückbarkeit der Luft 16.
Zusammenhangskraft 19.
Zusammenpressung der Gase, Wärmeerzeugung durch dieselbe 507.
Zustand, sphäroïdaler 494.
Zweiseitiger Hebel 61.

Von

G. LORENZ, Mechaniker in CHEMNITZ,

zu beziehen:

Materialien und Apparate

besonders zur „Vorschule der Experimentalphysik“.

(Die nothwendigsten Gegenstände sind mit * bezeichnet. Von Chemikalien sind nur diejenigen aufgenommen, welche nicht überall zu haben sind.)

	Rℓ.	Ngr.	₰.
Aaronstab mit hölzernem Griff	1	—	—
Adhäsionsplatten von Messing, 8cm Durchmesser, mit Ringen zum Anfassen . . . das Paar	3	—	—
Aeolus (Fig. 183 B)	—	7	5
* Amalgam zum Reiben von Glasstäben . . . 20gr	—	2	5
Aneroïdbarometer, gute von . . . 11 Rℓ. bis	20	—	—
Aräometer zur Bestimmung des specifischen Gewichts der Flüssigkeiten von 0,7 bis 1,0 und von 1,0 bis 1,9 das Stück	—	17	5
—— nach Baumé von 0° bis 10° in Zehntelgrade getheilt	—	20	—
—— —— —— von 0° bis 40° in Fünftelgrade getheilt	—	22	5
—— —— —— von 0° bis 70° in Fünftelgrade getheilt	—	25	—
—— für besondere Zwecke (für Spiritus, Säuren etc.) von 15 Ngr. bis	1	—	—
Astatische Doppelnadel zum Aufhängen	1	—	—
Auslader, elektrischer, die Arme zum Biegen	1	10	—
—— Henley'scher, die Stäbe zum Verschieben in Messinghülsen, um Charnier und Zapfen nach allen Richtungen drehbar, auf Glassäulen	6	—	—
Barometer mit Theilung in Millimeter und Pariser Zoll, je nach Ausstattung . . . 3 Rℓ. bis	10	—	—
—— Heberbarometer, die Scala mit Zahnstange und Trieb zu verschieben	16	—	—
—— —— Millimeterscala auf das Glasrohr geätzt, auf polirtem Brett	8	—	—
Barometerprobe	2	—	—
Bechergläser, 5 Stück von 6cm bis 10cm Höhe	—	12	5
8 „ „ 6cm „ 15cm „	—	22	5
12 „ „ 6cm „ 20cm „	1	15	—
Berzeliuslampe, siehe Weingeistlampe mit doppeltem Luftzug.			
Blasesprengen, Metallcylinder dazu, 10cm hoch, 12cm weit	2	—	—
Blechkasten zur Nachweisung der Lichtbrechung (Fig. 257), innen und aussen lackirt (innen weiss)	—	12	5
Bodendruckapparat, eine Wage, deren eine Schale den beweglichen Boden verschiedener, aufzuschraubender Gefässe			

	ℛ𝓉.	Ngr.	₰.
bildet; den Bodendruck tropfbarer Körper nach Gewicht zu messen. Nach Weinhold	20	—	—
Bologneser Fläschchen . . . . das Stück	—	1	—
Bunsen'scher Gasbrenner, mit Hahn (Fig. 18 oder 19) .	1	7	5
Cadmium . . . . 5^{gr}	—	3	—
* Cartesianischer Taucher, einfach (Fig. 185 A)	—	—	5
—— —— Teufelchen	—	4	—
Centrifugalmaschine, siehe Schwungmaschine.			
* Chlorbarium, 5^{gr}; Chlorlithium, 1^{gr}; Chlorstrontium, 5^{gr}; in Gläschen . . . . zusammen	—	5	—
Condensator, elektrischer, mit zwei völlig ebenen, lackirten Messingplatten von 8^{cm} Durchmesser, die eine mit Glassäule und Fuss, die andere mit Glasgriff, zur Ansammlung galvanischer Elektricität; dazu elektrische Pendel zum Anhängen und Horngummiplatte von 10^{cm} Durchmesser zur Ansammlung von Reibungselektricität	6	—	—
Conductorkugel auf Glassäule mit Fuss (Fig. 313)	4	—	—
Dampfreactionsrad von Glas in Messinggabel laufend . . .	—	7	5
Dasymeter (Fig. 189)	3	15	—
Doppelkegel mit Bahn, von Holz (Fig. 80)	2	—	—
Dosenlibelle	2	10	—
Drahtnetz, als Unterlage beim Erwärmen von Glasgefässen das Quadratdecimeter	—	1	—
Eisendraht, $0^{mm},2$ stark . . . . das Röllchen	—	—	5
Elemente, Bunsen'sche, kleine . . . . das Stück	—	27	5
* —— —— (Fig. 340) . . . . das Stück	2	—	—
12 Stück	20	—	—
—— Grove'sche (Fig. 339) . . . . das Stück	3	10	—
—— —— 17^{cm} hoch, 4 Stück mit Untersetzern auf Stativ .	26	—	—
—— Meidinger'sche (Fig. 347) . . . . das Stück	1	7	5
Elektrische Klingel, stehend und offen zur Demonstration oder verdeckt zum Aufhängen (Fig. 366)	4	—	—
—— —— Taster dazu mit Platincontact (Fig. 367)	—	15	—
—— —— —— eleganter . . . . bis	1	—	—
Eektrisirmaschine (Fig. 316) mit Funkenring und zwei Spiralkettchen	15	—	—
—— dazu Glassäule mit Fuss, den Conductor besonders aufzustellen (Fig. 313)	1	20	—
Elektromagneten, von verschiedener Grösse, Tragkraft und Ausstattung nach Uebereinkommen, z. B. 15^{kgr} tragend (bei 2 Bunsen'schen Elementen) mit Klemmschrauben und Anker	2	—	—
Elektrophor mit Horngummiplatte von 35^{cm} Durchmesser .	6	—	—
Elektroskop, Goldblatt-, stehende Glaskugel, der Messingstab mit Kautschuk isolirt	—	20	—
* Fallmaschine (Fig. 43), das Gestell mit der Rolle, Fangblech und Schnuren	3	20	—
—— ebenso sammt den 6 Messinggewichten von 70^{gr} und 98^{gr}	6	20	—

	Rℓ.	Ngr.	₰.
Fallmaschine, vollständig, mit getheiltem Brett, Gewichten und Uebergewichten	8	20	—
Fallcylinder, 50^{cm} hoch, 10^{cm} weit zum Aufsetzen auf den Luftpumpenteller mit abnehmbarem Deckel und Stopfbüchse (Fig. 192)	6	—	—
—— mit Messingfassungen und Hahn zum Aufschrauben	10	—	—
Feuerzeug, pneumatisches (Fig. 400)	3	15	—
—— —— mit Metallcylinder	1	15	—
Filtrirgestelle (Trichterhalter), zweiarmig . . . das Stück	—	17	5
Fuchsin 10^{gr}	—	3	—
Galvanoplastischer Apparat mit zwei Glassgefässen, die Flüssigkeiten durch Pergamentpapier getrennt, das äussere Gefäss 15^{cm} weit, auf Stativ mit metallner Säule und Tragarmen für die Polplatten	4	7	5
Gasflammenmanometer mit Messingröhren und Fuss	1	10	—
Geissler'sche Röhren, kleine . . . das Stück	—	20	—
4 Stück in Etui	2	20	—
—— —— mittlere . . . das Stück	1	—	—
5 Stück in Etui	5	—	—
—— —— grössere . . . das Stück	1	6	—
7 Stück in Etui	10	—	—
—— —— zu Spectralversuchen, mit verschiedenen Gasen gefüllt . . . das Stück	1	10	—
Gewichte von Messing, in Holzklotz eingelassen			
* von $0^{gr},1$ bis 50^{gr}	1	—	—
von $0^{gr},1$ bis 500^{gr}	3	12	5
von $0^{gr},1$ bis 1000^{gr}	4	15	—
Giftheber (Fig. 174 A)	—	7	5
Glascylinder mit Fuss, je nach Grösse das Stück 4 Ngr. bis	—	7	5
—— mit Cubiccentimetertheilung, 50^{cc}	—	9	—
Glaskolben, siehe Kochflaschen.			
Glasmesser mit Heft	—	8	5
* **Glasröhren** von 3 bis 15^{mm} Weite . . . das Kilogramm	—	20	—
Glasstäbe, durch Reiben vorzüglich elektrisch werdend, das Stück	—	6	—
—— zum Ausgiessen und Umrühren . . . das Stück	—	—	5
Glasthränen . . . das Stück	—	—	3
* **Glastrichter** . . . das Stück	—	3	—
—— ganz kleine . . . 3 Stück	—	4	—
Glastrog, viereckig, aus dem Ganzen, circa 13^{cm} lang, 10^{cm} breit, 11^{cm} hoch	—	27	5
Graphit, geschlämmt . . . 50^{gr}	—	2	—
Halbkugeln, Magdeburger, von lackirtem Gusseisen mit angegossenen Henkeln und Messinghahn, zum Aufschrauben; 10^{cm} Durchmesser im Lichten	4	10	—
Heronsbrunnen von Glas (Fig. 170 B)	1	—	—
Hollundermarkkugeln . . . das Dutzend	—	1	—
Inductionsapparat (Fig. 378)	3	15	—
—— etwas grösser	5	—	—

Thl. Ngr. Pf.

Inductionsapparat, noch grösser (8 bis 10^{mm} lange Funken
gebend) . . . . 8 20 —
—— gross (60 bis 80^{mm} lange Funken gebend), mit Queck-
silberunterbrecher nnd Commutator . . . . 55 — —
Influenzmaschine, Scheibe 35^{cm} Durchmesser . . . . 25 — —
Isolirstuhl . . . . 2 20 —
Kautschukblatt, ganz dünn . . . . . das Quadratdecimeter — 2 —
Kautschukpfropfen, durchbohrt und undurchbohrt . 100^{gr} — 21 —
* Kautschukschlauch von 3 bis 12^{mm} Weite, beste Qualität,
grau oder schwarz . . . . 100^{gr} 1 — —
Klemmschrauben zur Befestigung an Apparaten (Fig. 337 G)
das Stück — 5 —
—— zur Verbindung zweier Drähte oder eines Drahtes mit
einem Blechstreifen . . . . das Stück — 6 —
Knallkugeln . . . . das Stück . — — 3
* Kochflaschen je nach Grösse . . . . . das Stück 2 Ngr. bis — 5 —
Kochgestell von Eisen (Fig. 383) 1 7 5
Kohlenlichtregulatoren verschiedener Construction nach
Uebereinkommen.
Korkbohrer (Fig. 10) . . . . der Satz zu 12 Stück 2 — —
der Satz zu 9 Stück 1 15 —
der Satz zu 6 Stück 1 — —
Kreisel von Blei mit Stahlaxe, in der Luft $^3/_4$ Stunde, im
leeren Raume 2 Stunden laufend; nebst Vorrichtung zum
Loslassen . . . . 10 — —
* Kryophor, siehe Wasserhammer.
* Kupferdraht, blank, $1^{mm},5$ stark . . . . 100^{gr} — 4 —
* —— mit Seide besponnen, $0^{mm},6$ stark . . . . 50^{gr} — 7 5
$1^{mm},5$ stark . . . . . . 100^{gr} — 13 —
Kupferschale zum Leidenfrost'schen Versuch . . . . — 5 —
Leydner Flaschen, je nach Grösse . . . . . . 15 Ngr. bis 3 — —
* Linsen zu optischen Versuchen,
biconvex, 6^{cm} Durchmesser, circa 28^{cm} Brennweite,
" 2^{cm} " " 5^{cm} "
" $1^{cm},5$ " " 3^{cm} "
biconcav, 2^{cm} " " 5^{cm} Zerstreuungsw.,
zusammen 2 — —
Löthrohr mit Platinspitze und Trompetenmundstück . . . 1 10 —
Lorgnonstereoskop, die Linsen in Holzrahmen verschiebbar — 22 5
Luftpumpe mit Kurbelbewegung und gläsernem Teller (Fig.
187) mit Recipient (wird auf Verlangen ohne Preis-
erhöhung mit gläsernem Hahn geliefert) . . . . 40 — —
Lupe in Hornfassung zum Einschlagen . . . . — 12 5
Magdeburger Halbkugeln, siehe Halbkugeln.
Magneten, Stahl-, in Hufeisen- oder Stabform, 5 Ngr. bis 2 — —
Magnetnadel mit Chalcedonhütchen (Fig. 374) nach Grösse
20 Ngr. bis 1 — —
—— auf Stativ . . . . 1 Thl. 15 Ngr. bis 2 — —

	Thlr.	Ngr.	Pf.
Maassgefässe, Kolben mit eingeätzter Marke am Halse			
100cc	—	6	—
150cc oder 250cc	—	8	—
500cc	—	10	—
1000cc	—	12	5
2000cc	—	20	—
Marriotte'sches Gesetz, Apparat zur Erläuterung desselben (Fig. 166)	12	—	—
eleganter, von polirtem, harten Holz auf Säule mit 3 Füssen	16	—	—
Monochord (Fig. 214), Saitenlänge 120cm, mit 3 Saiten, die mittelste über eine Rolle laufend zum Anhängen von Gewichten, mit Centimetertheilung, Steg, Klemme und Stimmhammer	8	22	5
Multiplicatoren jeder Art (auch Spiegelgalvanometer) nach Uebereinkommen.			
Natron, unterschwefligsaures 500gr	—	5	—
* **Opodeldocgläser** das Stück	—	1	—
* **Pipette** (Fig. 11)	—	3	—
Planparallele Gläser, rund, zu kleinen Schwefelkohlenstoffprismen das Paar	—	10	—
Phosphoroskop, 6 Proben künstlicher Leuchtsteine, in Glasröhren eingeschlossen, in Holzetui	2	—	—
Platin, Blech oder Draht das Gramm	—	10	—
* —— zwei Blechstreifchen mit angelötheten Drähten zur Elektrolyse (Fig. 342)	—	15	—
* —— Draht mit Oese und Glasgriff zu Spectralversuchen	—	2	5
Probirglashalter, federnde Klemme mit Handgriff das Stück	—	4	—
* **Probirgläser**, 12 Stück von 10 bis 20cm, zwei davon ineinanderpassend (Fig. 186 C)	—	7	5
* **Quecksilber, ganz rein** (schwankt im Preise, weil der Preis des Rohmaterials sehr veränderlich ist) gegenwärtig das Kilogramm	3	—	—
* **Quecksilbernapf** von lackirtem Gusseisen (Fig. 162)	—	5	—
Quetschhahn	—	4	—
—— **mit Schraube**, zugleich aus freier Hand zu öffnen	—	6	—
Reactionsrad (Fig. 143)	2	—	—
Recipienten zur Luftpumpe, je nach Grösse das Stück 20 Ngr. bis	1	20	—
* **Retorten** das Stück	—	5	—
* **Retortenhalter**, massiv gebaut (Fig. 29) das Stück	—	22	5
Röhrenlibelle 2 Thlr. 15 Ngr. 5 Pf. bis	4	—	—
Rollen von Buchsbaum in Messinggehäuse, oben und unten mit Haken das Stück	1	—	—
* **Schwungmaschine** (Fig. 95) mit Holzrahmen zum Aufsetzen, die Schwungscheibe von Holz oder von Messing	8	—	—
—— zum Senkrechtstellen mit Drehung um Charniere	10	—	—
Messingring zur Abplattung dazu, mit Axe in den Rahmen zu setzen (Fig. 99)	—	15	—
Secundenpendel, schlägt hörbar Secunden 8 Thlr. und	12	—	—
Spirituslampe, siehe Weingeistlampe.			

	Rf.	Ngr.	₰.
Sprengkohle . . . . das Dutzend Stäbchen	—	7	5
Stanniol . . . . das Blatt	—	1	—
Thermometer, Papierscala in Glashülle, von —10° bis 80° R. das Stück	—	10	—
* —— Scala auf das Glasrohr geätzt von 30° bis 300° C. das Stück	1	20	—
Tischchen, stellbar auf verschiedene Höhe (besonders zum Untersetzen unter die Flasche a Fig. 156)	1	7	5
Trichterröhren . . . . das Stück	—	3	—
Tubulirte Flaschen (wie Fig. 181 A) . . . . . das Stück	—	20	—
Violinbogen zum Streichen von Glasglocken und Platten .	—	20	—
Wagen, feine, zu wissenschaftlichen Untersuchungen, nach Uebereinkommen . . . . von 20 Rf. bis 100		—	—
* **Wasserhammer** nach Weinhold, zugleich als Kryophor dienend (Fig. 393)	—	15	—
Wasserstoffapparat (Fig. 156)	2	12	5
Wasserzersetzungsapparat (Fig. 343)	2	22	5
* **Weingeistlampe** von Glas mit hartgelötheter Dille, nach Grösse das Stück 7 Ngr. 5 ₰. und	—	10	—
—— mit doppeltem Luftzug, auf eisernem Stativ mit verstellbarem Ring	4	—	—
Wellrad, von Holz mit Stahlaxe, zum Einsetzen in das Fallmaschinengestell (Fig. 54)	—	20	—
Wismuth (schwankt im Preise) gegenwärtig 30gr	—	10	—

Andere Apparate jeder Construction werden nach Uebereinkommen geliefert. Verpackung wird billigst berechnet. Preise per comptant.

Berichtigungen.

(Von eigentlichen Druckfehlern sind nur die wirklich sinnstörenden berücksichtigt.)

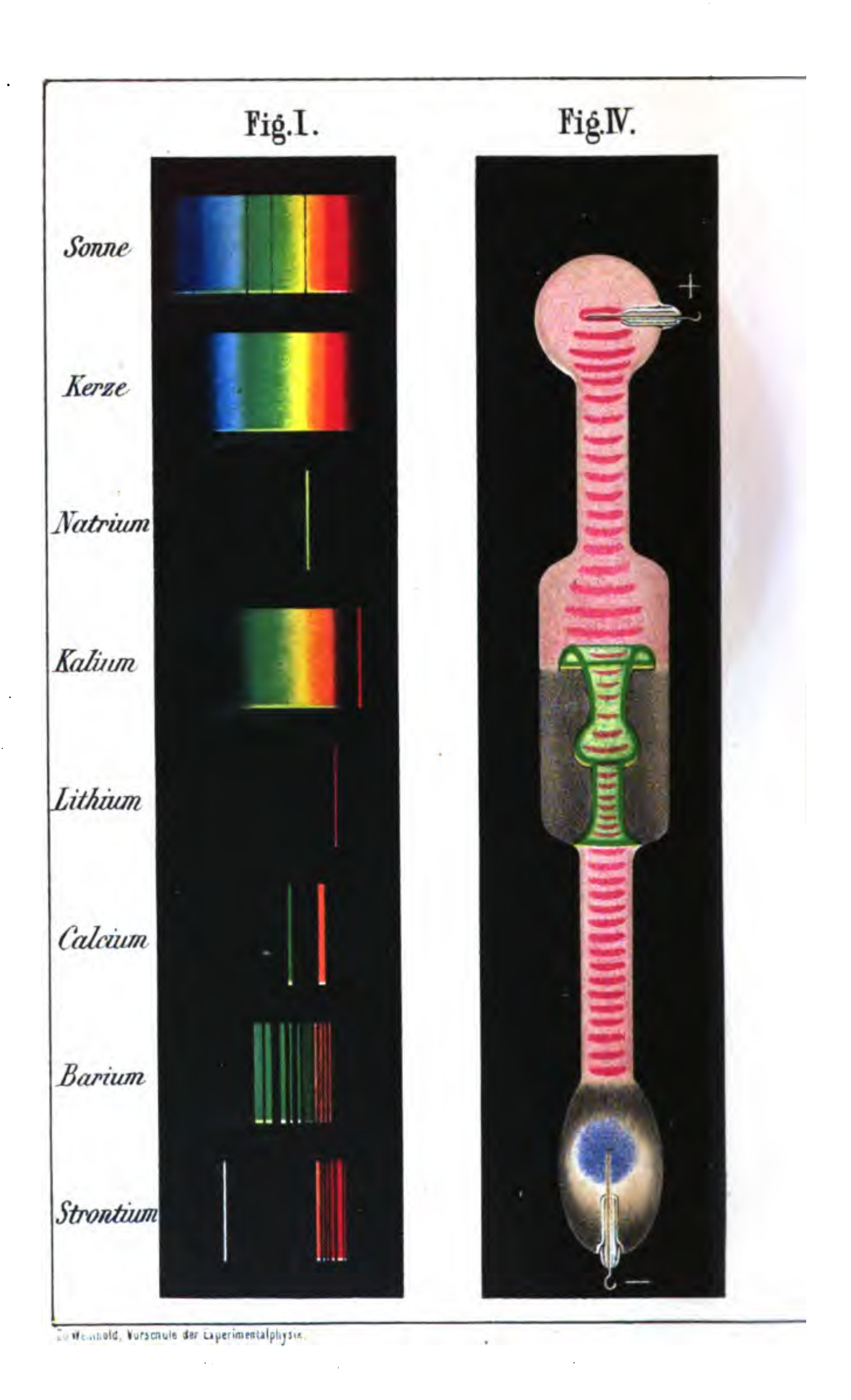
S. 5, Z. 24 v. u. nach „zu" fehlt „Erwerbung".
» 11, » 9 v. o. „Seiten" statt „Seite".
» 19, » 21 v. o. „anbinden" st. „verbinden".
» 40 u. ff. sind unter den Uebergewichten immer zwei Zweigrammstücke aufgezählt, an deren Stelle, da sie nie einzeln vorkommen, besser ein Viergrammstück gesetzt wird.
» 45, Z. 20 und 19 v. u. „+" st. „(" und „)".
» 51, » 5 v. u. „seiner" st. „einer".
» 57, » 7 v. u. „Muskelkraft" st. „Mukelkraft".
» 61, » 17 v. o. nach „überwunden" fehlt „werden".
» 61, » 7 v. u. „Πförmig" st. „förmig".
» 69, » 13 v. o. „Kohkfeuer" st. „Kohlfeuer".
» 74, » 14 v. o. „Bohrers" st. „Rohres".
» 86, Fig. 87 steht verkehrt.
» 93, Z. 26 v. o. einzuschalten „Gypsgießen siehe S. 112".
» 111, » 10 v. u., S. 112, Z. 19 u. 21 v. o. „Flour" st. „Flower".
» 116, » 15 v. u. „des Kolbens" st. „desselben".
» 160, Fig. 166 B. Die Quecksilberkuppe b und die davon wagrecht herübergehende, punktirte Linie soll in der Höhe von 169^{cm}, anstatt von 170^{cm} liegen.
» 162, Z. 16 v. o. „Ende" st. „Enge".
» 175, Fig. 184 steht verkehrt.
» 189, Z. 3 v. u. „nur" st. „nun".
» 194, » 5 v. u. „gepreßte" st. „gesperrte".
» 214, » 6 v. o. „A" st. „B".
» 217, » 14 v. u. „denen" st. „dem".
» 237 sind fälschlich drei runde, als Fig. 220 zu bezeichnende Zeichnungen zu Fig. 219 gesetzt und drei zu Fig. 219 gehörige, viereckige Zeichnungen als Fig. 220 bezeichnet.
» 256, Z. 12 v. u. „$61\frac{7}{8}$" st. „$62\frac{13}{16}$" und „$4\frac{1}{8}$" st. „$3\frac{1}{16}$".
» 308, » 19 v. u. „feinen" st. „freien".
» 323, Fig. 282 Unterschrift „$\frac{1}{3}$" st. „$\frac{3}{4}$".
» 326, Anm. 55, Z. 3 „Brennweite" st. „Sehweite".
» 330, Z. 1 v. o. „7^{m}" st. „7^{cm}".
» 363, » 7 v. o. „Zusetzen" st. „Schmelzen".

Berichtigungen.

S. 364, Z. 6 v. u. „anschmilzt“ st. „ausschmilzt“.
» 378, » 17 v. o. „umgelegten“ st. „angelegten“.
» 380, » 4 v. o. „unelektrischen“ st. „unelektrisirten“.
» 385, » 11 v. u. „letzteren“ st. „ersteren“.
» 393, » 7 v. o. nach „soll“ fehlt „wird“.
» 400, » 12 v. u. „Flaschenknopf“ st. „Flaschenkopf“.
» 404, » 6 v. o. „0,000 000 086 8“ statt 0,000 000,086 8“.
» 405, » 19 v. o. „also“ st. „aber“.
» 407, » 23 v. u. „6^{cm}“ st. „6^{m}“.
» 426, » 8 v. o. „in“ st. „an“.
» 429, » 21 v. o. „er“ st. „sie“.
» 430, » 1 v. u. nach „die“ fehlt „des“.
» 431, » 1 v. o. „Körpers“ st. „Körper“.
» 439, Fig. 356 A ist die Richtung des Pfeiles verkehrt.
» 444, Fig. 362 A sind die Buchstaben c und d verwechselt.
» 461, Z. 18 v. o. „ncigt“ st. „zeigt“.

Berichtigungen.

S. 364, Z. 6 v. u. „anschmilzt" st. „ausschmilzt".
» 378, » 17 v. o. „umgelegten" st. „angelegten".
» 380, » 4 v. o. „unelektrischen" st. „unelektrisirten".
» 385, » 11 v. u. „letzteren" st. „ersteren".
» 393, » 7 v. o. nach „soll" fehlt „wird".
» 400, » 12 v. u. „Flaschenknopf" st. „Flaschenkopf".
» 404, » 6 v. o. „0,000 000 086 8" statt 0,000 000,086 8".
» 405, » 19 v. o. „also" st. „aber".
» 407, » 23 v. u. „6^{cm}" st. „6^{m}".
» 426, » 8 v. o. „in" st. „an".
» 429, » 21 v. o. „er" st. „sie".
» 430, » 1 v. u. nach „die" fehlt „des".
» 431, » 1 v. o. „Körpers" st. „Körper".
» 439, Fig. 356 A ist die Richtung des Pfeiles verkehrt.
» 444, Fig. 362 A sind die Buchstaben c und d verwechselt.
» 461, Z. 18 v. o. „ncigt" st. „zeigt".



Zu Weinhold, Vorschule der Experimentalphysik.

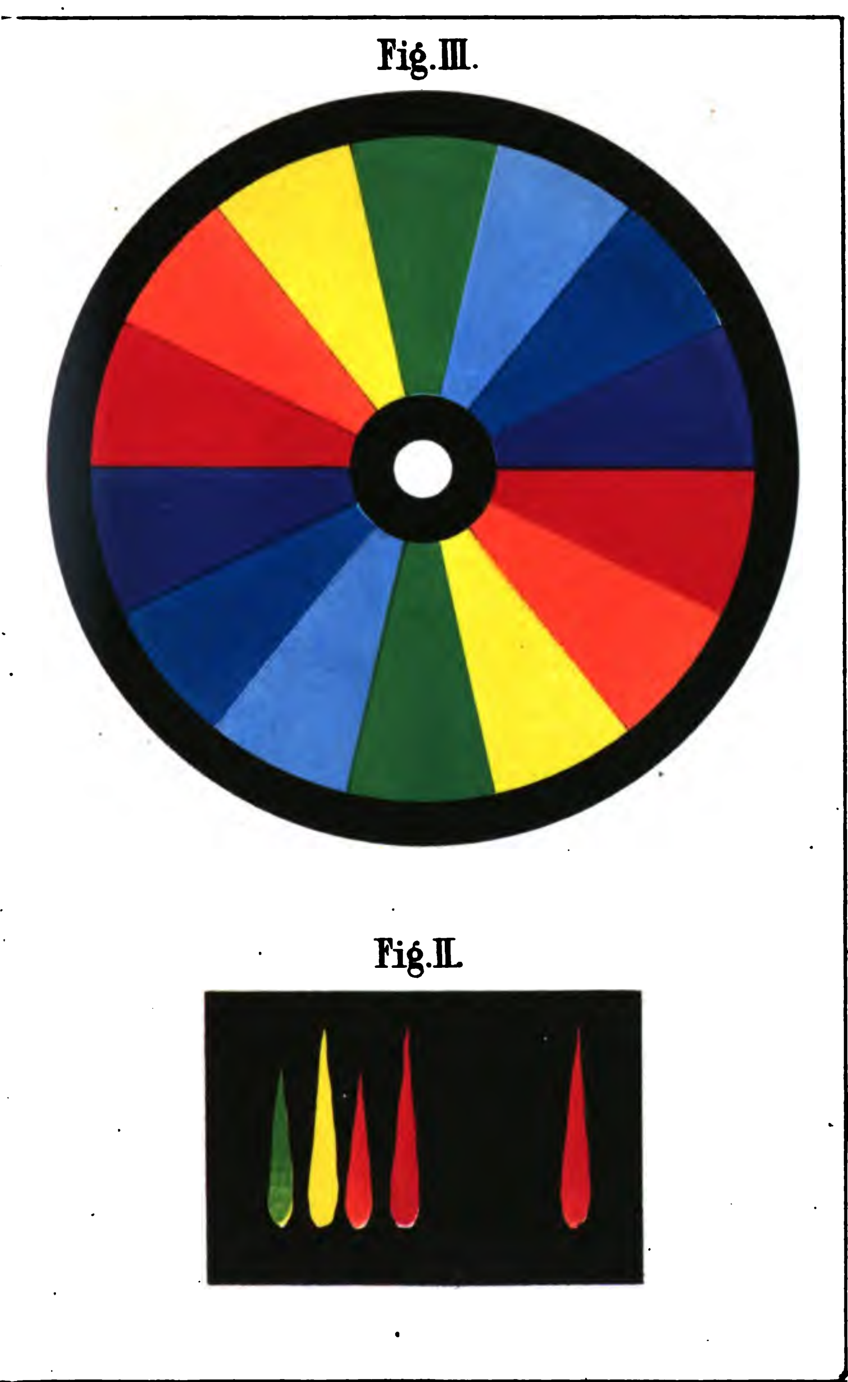
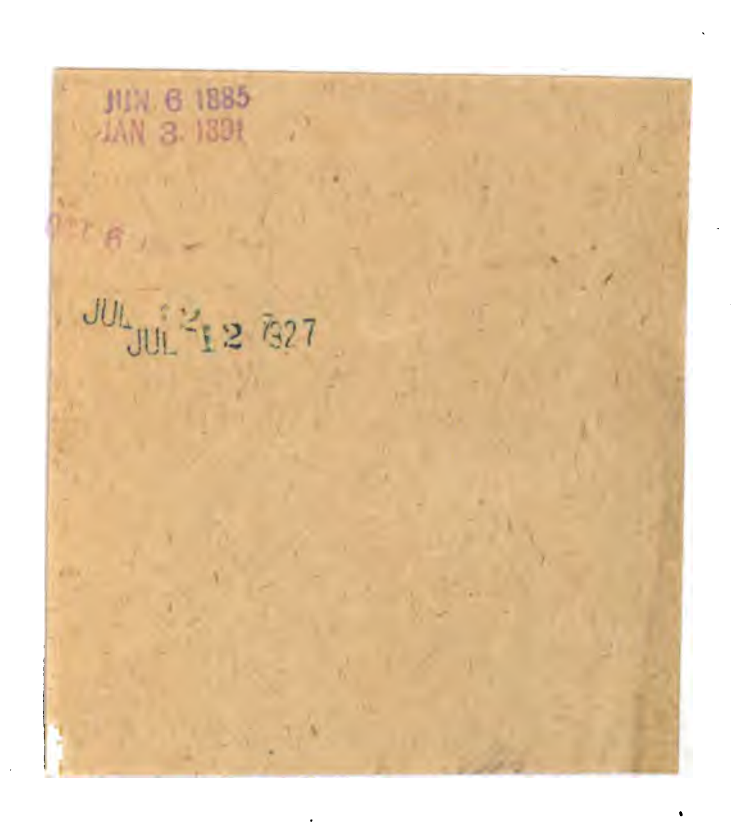


Fig. III.

Fig. II.

F. A. Brockhaus' Geogr.-artist. Anstalt, Leipzig




JUN 6 1885
JAN 3 1891
JUL 12 1927


Phys 247.5
Vorschule der Experimentalphysik :
Cabot Science 003439852
3 2044 091 955 831